المكتبة التكنولوجية

إشراف المهندس سعيد عبد الغفار

٢

صناعة الصلب فى المحولات

مهندس/ صبحى محمد على

تقديم

مهندس/ عدلى كريم



الهيئة المصرية العامة للكتاب

المكتبة التكنولوچية

٢



صناعة الصلب فى المحولات

المكتبـة التكنولوجيـة

سلسلة تصدر عن الهيئة المصرية العامة للكتاب
باشراف : مهندس / سعيد عبد الغفار

المكتبة التكنولوجية

٢

صناعة الصلب فى المحولات

مهندس صبحى محمد على

تقديم

مهندس عدلى كريم



الهيئة المصرية العامة للكتاب

١٩٨٧

اخراج : زهور السلام

الاشراف الفني : محمد قطب

تقـــديـــم

لعلى لا أكون مبالغا اذا اعترفت أنى غمرنى شعور بالرضـا حـين تصفحت هذا الكتاب العلمى المتخصص .. ذلك أن الكتاب قد ملأ فراغا كان يعيب مكتبننا الهندسية العربية وهو مجال انتاج الصلب بأساليبه المتنوعة . ومما لا شك فيه أن حاجة العاملين فى صناعة الحديد والصلب ـ وقد تنوعت شركاتها وأساليب انتاجها ـ أصبحت ماسة للغاية الى كتاب يغطى هذا المجال ويزود هؤلاء العاملبن بما يـلزم من معلـومات أساسية .

ولقد أدركت قيمة الكتاب انطلاقا من الجهد المخـلص الذى بذلـه المؤلف كى يبسط المعلومات والحسابات دونما اخلال بأمانة الجهد العلمى وشمولية المجال الهندسى .

ونأمل أن تضطرد الجهود حتى تستكمل المكتبة الهندسية العربية جميع جوانبها .

مهندس عدلى عبد الشافى كريم

الفصل الأول

المبادىء الأساسية لصناعة الصلب فى المحولات

فى الواقع يعتبر الحديد الزهر سبيكة من الحديد والكربون فهو يحتوى على ٣ر٥ ـ ٥ر٤٪ من الكربون ، ٥ر٢ ـ ٥ر٤٪ من الشوائب التى أهمها السليكون والمنجنيز والفوسفور والكبريت ٠

ويحتوى الحديد الزهر اللازم لصناعة أنواع الصلب الخاصة على عناصر الكروم والنيكل والفانديوم ٠ وهذه العناصر هى التى تكسب الصلب الخواص التى صنع من أجلها ٠

ويقل كثيرا نسبة الشوائب فى الصلب العادى عنها فى الحديد الزهر اذ تكون فى مجموعها نسبة تتروواح بين ٥ر٠ ـ ٥ر١٪ بينما تتراوح بين ٥ر٢ ـ ٥ر٤٪ فى الحديد الزهر ٠ وهذا التباين الكبير فى نسب الشوائب فى الحديد الزهر والصلب هو المسئول عن الفروق الجوهرية فى الخواص ٠

ويتميز الصلب بمقدرته على تقبل الطرق والثنى والشد وتتيح هذه الخواص امكانية تشكيل الصلب بطرق التشكيل المختلفة كالطرق على الساخن والسحب والثنى على البارد ٠٠ ويمكننا انتاج تشكيلة كبيرة من الصلب تختلف فيما بينها اختلافا بينا فى الخواص الميكانيكية والخواص الأخرى وذلك بالتحكم فى التركيب الكيميائى وكذلك بواسطة المعالجة الحرارية ٠

ويتسم الحديد الزهر بالصلادة والهشاشية وعدم قابليته للمطيلية ٠

ولا يكتسب الحديد والزهر خاصية المطولبة عند التسخين (باستثناء الحديد الزهر المطاوع فانه يكتسب هذه الخاصية بعد اجراء عمليات معقدة من المعالجة الحرارية) وتقوم صناعة الصلب أساسا على التخلص من الغالبية العظمى من الشوائب الموجودة بالحديد الزهر فباتحاد الشوائب (الكربون ـ المنجنيز ـ السليكون ـ الفوسفور ـ الكروم ـ الفانديوم) بالأكسجين الموجود فى هواء النفخ يمكننا التخلص منها على

هيئـــة أكاسيد . اما الكبريت فتمكن من أزالته على صـــورة كبريتيد الكالسيوم وكبريتيد المنجنيز . وينتج حاليا بواسطة أفران سيمنز مارتن والأفران الكهربائية وأيضا يصنع بواسطة المحولات والأفران الدوارة .

وقد يتم صنع الصلب على مرحلتين : فى المرحلة الأولى تقوم المحولات بانتاج الحديد الزهر ثم تتكفل أفران سيمنز مارتن أو الأفران الكهربائية بتحويل الحديد الزهر الى صلب فى المرحلة الثانية .

وتعرف الطريقة التى يتم فيها صناعة الصلب على مرحلتين بالطريقة المزدوجة وفى الافران الكهربائية وأفران سيمنز مارتن يقوم الخام المضاف الى الشحنة بتمويل الأكسجين اللازم لأكسدة الشوائب الى منطقة التفاعل والحدود المشتركة بين الخبث والفلز . كذلك يشترك الهواء المحيط بالشحنة فى مدها بالاكسجين .

وينتقل الاكسجين خلال الشحنة بواسطة الانتشار ويتوقف معدل الانتشار على درجة حرارة الشحنة وكذلك على درجة لزوجة كل من الخبث والفلز المنصهر ولذا فان انتشار الأكسجين يكون بطيئا نسبيا .

وفى صناعة الصلب بطريقة المحولات يتم الحصول على كمية الاكسجين المطلوبة بواسطة هواء النفخ والذى يعمل على تقليب الشحنة مما يتيح للاكسجين فرصة الاتحاد مع الشوائب بسهولة .. لذا كان الانتشار هنا أقل أهمية .

١ ـ القواعد لعامة لصناعة الصلب فى المحولات

تقوم صناعة الصلب فى المحولات أساسا على نفخ الحديد الزهـر بالهواء الجوى أو بالهواء الجوى المشبع بالأكسجين أو بخليط من الأكسجين النقى وبخار الماء أو الاكسجين النقى مع ثانى أكسيد الكربون .

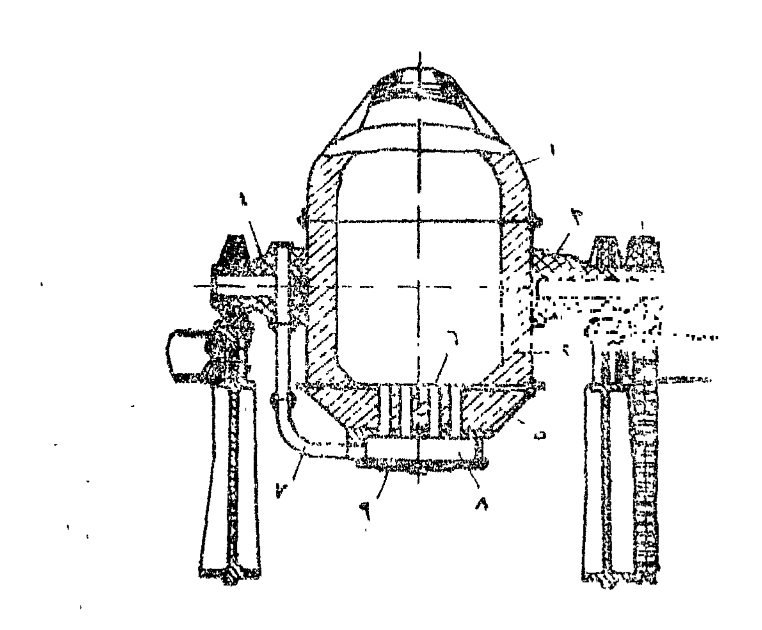
ويتم النفخ بواسطة ودنات ينفذ منها الهواء الى قاعدة المحول التى تحتوى على عدد كبير من الثقوب لدخول الهواء .

وفى التطورات الحديثة لصناعة الصلب فى المحولات توضع شحنة الحديد الزهر فى محول ذى قاعدة صماء (ليس بها ثقوب) ثم يسلط على الشحنة تيار من الاكسجين الخالص خلال الفتحة العليا للمحول فيتأكسد عنصر الحديد فى أول الأمر ويتحول الى أكسيد الحديدوز الذى يقوم بعد

ذلك بأكسدة الشوائب بواسطة ما يحتويه من اكسجين ولا يخلو الأمر من أن بعض الشوائب قد تتأكسد مباشره بأكسجين النفخ ·

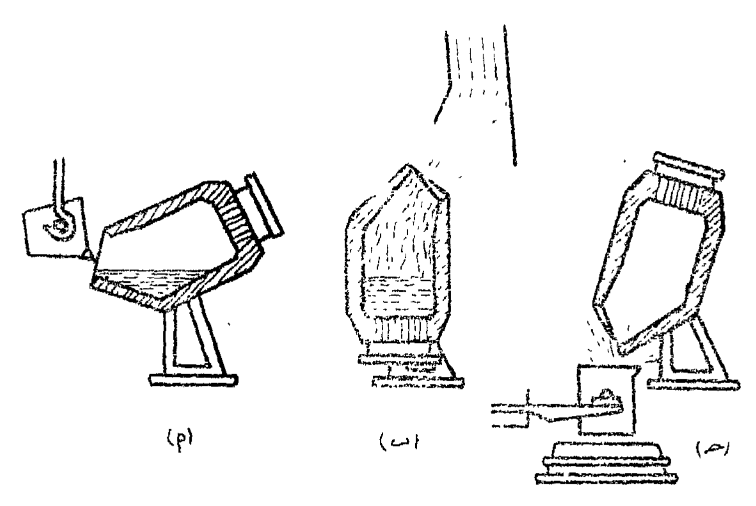
ونتيجة لاتحاد اكسجين النفخ بعنصر الحديد والشوائب الموجـودة بالحديد الزهر تنبعث كمية لا بأس بها من الحرارة وباضافة كمية الحرارة الطبيعية التي يحتويها الحديد الزهر تكون لدينا الحرارة اللازمة ليس فقط لتسخين المعدن المنصهر ولكن أيضا لصهر كميـة مناسبه من الخردة أو لاختزال كمية محسوبة من خام الحديد ·

ويبين شـكل (١) تصميما لاحد المحولات قاعدية النفخ . ويتركب المحول من وعاء معدنى كمثرى الشكل مبطن من الداخل بطوب حرارى يحدد نوعه تبعا للطريقة المستخدمة في صناعة الصلب ويستطيع المحول الدوران حول محور أفقى ·



شكل (١) : اشكال الطوب التي تستخدم لبناء الأجزاء المختلفة من المحول ·

١ ــ هيكل المحول
٢ ــ حرارات البطانة
٣ ، ٤ ــ مرتكز الدوران
٥ ــ قاعدة المحول
٦ ــ قصبات الهواء وفتحاتها
٧ ــ أنبوبة الهواء
٨ ــ صندوق الهواء
٩ ــ غطاء الصندوق



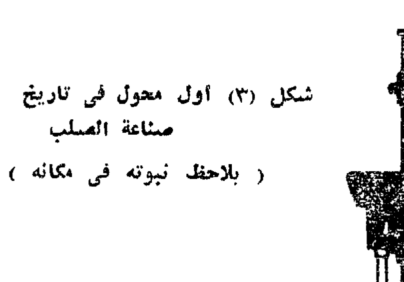
(٢) : المحول فى أوضاعه المختلفة :
أ ـ عند شحنه بالحديد الزهر
ب ـ أثناء النفخ
ج ـ عند صب الصلب منه

٢ ـ نبـذة تاريخيـة

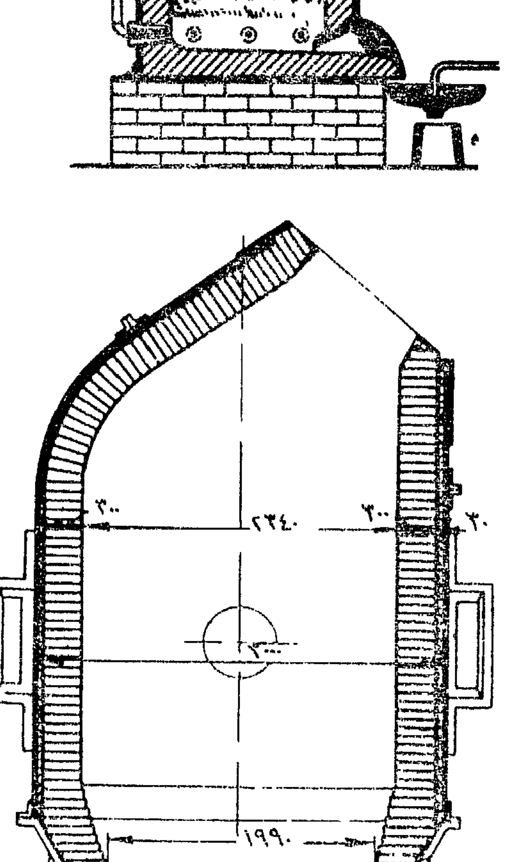
اكتشفت صناعة الصلب بواسطة المحولات سنه ١٨٥٩ م ومكتشفها هو هنرى بسمر الذى قام بأبحاثه بعد تمكنه من قبل حكومته من انتاج الصلب من الحديد الزهر بنفخه بالهواء دون الاستعانة بأى وقود .

ويعتبر محول بسمر المبين بشكل (٣) بداية المحاولات لصنع أول محول فى تاريخ صناعة الصلب وهو يتركب من وعاء معدنى ثابت ذى فتحة جانبية عند منتصف ارتفاعه اصب الحديد المنصهر داخل المحول ويوجد بالقرب من قاعة ودنات يمر منها الهواء الى الداخل ويحتوى الجزء الأسفل للمحول على فتحة لاخراج الصلب الناتج وتهرب الغازات المتكونة أثناء التفاعلات الكيميائية من فتحة موجودة عند قمة المحول حيث تصطدم بلوح من الصلب يستخدم كعاكس للغازات كما هو مبين بالشكل .

ويبطن المحول بطوب ديناس الحامضى ، وهذا النوع من الطوب يكون مناسبا اذا أحتوى الحديد الزهر على أقل كمية من الفوسفور والكبريت وعندئذ يمكننا انتاج صلب ذى جودة عاليه .



شكل (٣) أول محول فى تاريخ صناعة الصلب
(بلاحظ نبوته فى مكانه)



شكل (٤) محـــول بسمر سعته ٢٠ طنا

ويلاحظ على الفور قصور مثل هذا المحول عن أداء مهمته على الوجه الأكمل نظرا لثبوته في موضعه ولهذا يحتم علينا بدء نفخ الهواء في المحول قبل صب الحديد الزهر ٠٠ كما يجب انهاء عملية النفخ بعد أن يتم صب الصلب مما يعرض كثيرا من الحديد للضياع نتيجة لتأكسده وخصوصا اذا تعطلت فتحة صب الصلب لسبب أو لآخر ٠

وبعد سلسلة من المحاولات باءت كلها بالفشل ، تمكن بسمر في سنة ١٨٦٠ من بناء أول محول متحرك وهو لا يختلف كثيرا عن المحولات التي نراها اليوم ٠

٣ ـ مبادئ الكيمياء الطبيعية في صناعة الصلب

يحدث كثير من العمليات الطبيعية المعقدة والتفاعلات الكيميائية أثناء نفخ الحديد الزهر في المحولات فيقوم الأكسجين الموجود بهواء النفخ وخام الحديد بأكسدة المواد غير المرغوب فيها « كربون ، منجنيز ، سليكون ، فوسفور » أما الكبريت فنتمكن من ازالته اذا كانت الطريقة المستعملة قاعدية ، وبمجرد تكوين هذه الاكاسيد فانها تتحد مع الاضافات التي بالشحنة وأهمها الجير الحي (أكسيد الكالسيوم) لتكون خبثا ، وتشترك بطانة المحول بجزء لا بأس به في تكوين الخبث ومع هذا فان جزءا من هذه الأكاسيد يذوب في الصلب الناتج ٠

وبالنسبة للكربون فانه بمجرد أن يتأكسد فانه يبتعد عن منطقة الفاعلات على صورة أول أكسيد الكربون ٠٠

وبالرغم من هذا فانه في نهاية عملية النفخ نتمكن بعض هذه العناصر غير المرغوب فيها (النفايات) التي تم تأكسدها من التخلص من الأكسجين بواسطة الاختزال وبذلك تعود سيرتها الأولى ، وتأخذ صورتها العنصرية ثم تشترك في تركيب الصلب الناتج من جديد فمثلا يختزل ثاني أكسيد السليكون الذي يذوب في الصلب الناتج كذلك نختزل أكاسيد المنجنيز والفوسفور في محولات توماس ٠

ونعتبر دراسة الظروف التي يتم فيها أكسدة الشوائب واختزالها وكذلك تكوين الخبث أمرا مهما الى حد بعيد لكي نتمكن من التحكم في صناعة الصلب والسيطرة على التفاعلات التي تحدث داخل المحول ٠

(أ) المجموعة ـ الصنف ـ المحلول وتركيزها :

يطلق على عدد من المواد التي تتفاعل مع بعضها لفظ (مجموعة) فمثلا يطلق لفظ « مجموعة » على : الفلز المتكون ، الخبث ، البطانة ٠

ومن الواضح أنه أثناء صناعة الصلب تحدث كثير من التفاعلات الكيميائية داخل هذه المجموعة · ونكون المجموعة متجانسة ، اذا كانت جميع المواد المكونة لها متشابهة طبيعيا ولا تختلف فى خواصها فاذا اختلفت هذه المواد عن البعض فى خواصها الطبيعية أطلق عليها « مجموعة غير متجانسة » ويطلق لفظ (صنف) على أى جزء من مجموعة غير متجانسة بختلف خواصها الطبيعية عن باقى المجموعة ·

وتحتوى على مجموعة المواد المتفاعلة داخل المحول على أربعة أصناف على الأقل وهى : الفلز المنصهر ــ الخبث ــ بطانة المحول ــ والغازات وكل صنف من هذه الأصناف يكون متجانسا باعتباره منفصلا بينما تكون هذه الأصناف مجتمعة مجموعة غير متجانسة ·

وأثناء عملية النفخ تحدث كبير من التفاعلات الكيميائية فى كل صنف على حدة وكذلك بين الأصناف المختلفة ويطلق لفظ (محلول) على كل صنف متجانس يحتوى على مواد ممتزجة ببعضها امتزاجا تاما ·

ولما كان الصلب مذيبا لكثير من الأصناف المختلفة كالشوائب وبعض الأكاسيد وعدد من الغازات فهو يعتبر محلولا معقدا ·

أيضا يعتبر الخبث محلولا مكونا من الأكاسيد المختلفة ومركباتها ونظرا للامزاج التام بين الغازات يعتبر خليط من الغازات أبسط أنواع المحاليل ·

ولخليط من الغازات ضغط كلى يكون مساويا لمجموع الضغوط الجزئية لكل منها منفردا ·

والضغط الجزئى لخليط من الغازات هو ضغط كل منها على حده حين يسمح له بشغل كل الحيز الذى يشغله الخليط عند نفس درجة الحرارة ·

ويتناسب تركيز كل غاز فى الخليط مع ضغطه الجزئى طرديا ·· ولقد اتفق على التعبير عن مقدار من المادة مذابا فى محلول ما بدرجة تركيز هذه المادة فى هذا المحلول فمثلا اذا احتوى نوع من الفولاذ على ٥ر٠ / من المنجنيز مذابا فيه قيل ان درجة تركيز المنجنيز فى هذا الفولاذ ٥ر٠٪ ·

وقد اصطلح على التعبير عن تركيب الغازات فى محلول منها بالنسبة المئوية حجما أما في حالة السوائل فيكون التعبير بالنسبة المئوية وزنا ·

(ب) قانون فعل الكتلة ـ معدل التفاعلات الكيميائية :

التأثير الحررى :

نعرف المواد التى تشترك فى تفاعل ما بالمواد الداخلة فى التفاعل ونكتب عادة فى الطرف الأيسر من معادلة كيميائية تحدد هذا التفاعـل (هذا اذا كتبت المعادلة باللغة الانجليزية) كما تعرف المواد التى تتكون نتيجة لهذا التفاعل « بناتج التفاعل » وتكتب بالطرف الأيمن للمعـادلة الكيميائية ٠

وينص قانون فعل الكتلة على أن معدل سرعة تفاعل ما مقيسا بمقدار المواد المتفاعلة فى وحدة الزمن يكون متناسبا مع درجة تركيز المواد الداخلة فى التفاعل ومساويا لحاصل ضربها مرفوعة للقـوة العدديـة المناظـرة للمعاملات الحسابية لكل منها وعلى سبيل المثال بعنبر التفاعل الآتى :

٢ فو + ٥حأ = فو٢ أ٥ + ٥ح

تكون الاعداد ٢ قبل فو ، ٥ قبل ح أ هى المعاملات الحسابية لكل منها واذا لم يكن هناك عدد حسابى مكتوب مثل فو٢ أ٥ فانه من الضرورى التعبير عن معدل التفاعلات كالآتى :

ع = ث × (٪فو)٢ × (٪حأ)٥ حيث

ع = سرعة التفاعل

ث = ثابت (معدل سريان التفاعل) ٠

ويتوقف هذا الثابت على عدد من العوامل منها درجة الحرارة وطبيعة المواد الداخلة فى التفاعل ٠ وعادة ما تكون قيمة ث كبيرة جدا فى غالبية التفاعلات الحادثة فى صناعة الصلب أى أن التفاعلات تسير بمعدل سريع جدا ٠ ويلزم امداد عناصر التفاعل باستمرار الى منطقة التفاعل مع سحب نواتج التفاعل بصفة دائمة حتى يسير التفاعل فى الاتجاه الصحيح بسرعة مقبولة على المستوى الصناعى ويعتمد ذلك فى النهاية على عمليات انتشار للمواد التفاعلية خلال منطقة التفاعل وهى عمليات يقل معدلها عادة عن معدلات التفاعلات الكيميائية لذلك يعتبر معدل الانتشار هو المحك فى معدل تقدم التفاعلات وليس المحك هو السرعة النظرية لهذه التفاعلات ٠

ويزيد من سرعة معدل الانتشار تحسن ظروف التقليب فى حمـام المعدن المنصهر بفعل تأكسد الشوائب وهواء النفخ (أو الأكسجين) ٠٠

وتختزن كل مادة كمية من الطاقة الداخلية تقاس بالسعرات الحرارية وعندما تتفاعل المادة مع غيرها تفاعلا كيميائيا فقد ينخفض مقدار الطاقة الداخلية لانتقال جزء منها الى البيئة المحيطة أو يزيد باستقبال طاقة من الخارج فاذا احتوت المواد المتفاعلة على طاقة أكبر من طاقة نواتج التفاعل تصاعد الفرق على شكل حرارة ويمكن لهذا التفاعل أن يستمر اذا تم سحب الحرارة المتصاعدة من منطقة التفاعل • وعلى العكس اذا كان محتوى الطاقة لنواتج الفاعل أكبر من المواد المنفاعلة استلزم الأمر امداد كمية خارجية من الحرارة الى منطقة التفاعل كشرط لاستمرار هذا التفاعل ويطلق على التفاعل الذى تتصاعد الحرارة من جراء حدوثه اصطلاح « تفاعل طارد للحرارة » وعلى النوع الآخر اصطلاح « تفاعل ممتص للحرارة » •

فمثلا : يعتبر التفاعل :

٢ح أ + س ← س أ ٢ + ح

تفاعلا طاردا للحرارة ، حيث يعتق ٧٨ر٩٩٠ سعرا من الحرارة من كل ذرة سليكون تتفاعل مع جزيئين من أكسيد لحديدوز •

فى حين أن التفاعل :

م أ + ك ← م + ك أ

يعتبر تفاعلا ممتصا للحرارة حيث يحتاج الوزن الجزيئى من مواد هذا التفاعل الى ٦٦ر٧٥٠ سعرا حراريا كى يتم •

جـ ـ اتزان التفاعــــلات

نفترض أن مادتين أ ، ب تتفاعلان مع بعضهما البعض فينتج من هذا التفاعل مادتان جـ ، د ومع تقدم التفاعل ينخفض تركيز

أ + ب ⇄ جـ + د

المادتين أ ، ب بينما يزداد تركيز المادتين جـ ، د بفرض استمرار تغذية أ ، ب واستمرار تصريف جـ ، د الى ومن منطقــة التفاعل • وتقل سرعة التفاعل فى اتجاه اليسار مع انخفاض تركيز المادتين أ ، ب ثم ينعكس اتجاه التفاعل بعد زيادة تركيز المادتين جـ ، د ويسمى مثل هذا التفاعل تفاعلا قابلا للانعكاس •

ويستمر الحال حتى يتساوى معدلا التفاعل فى كلا الاتجاهين وبذلك يبلغ التفاعل مرحلة الاتزان ويتوقف سريانه •

ويكون معدل التفاعل فى اتجاه اليمين ع ١ = ث١ × أ٠ب
ويكون معدل التفاعل فى اتجاه اليسار ع٢ = ث٢ × جـ٠د
وفى حالة الاتزان يصبح : ع١ = ع٢ أى أ٠ب = جـ٠د

$$\frac{ث٢}{ث١} = ثر٠$$ **(ثابت التفاعل عند الاتزان)**

$$ثر٠ = \frac{جـ ، د}{أ ، ب}$$ **ثر٠ = ثابت الاتزان**

$$= \frac{\text{نسبة تركيز المواد المتفاعلة}}{\text{نسبة تركيز نواتج التفاعل}}$$

ويكون لثابت الاتزان قيمة ثابته عند كل درجة حرارة وتتجه كل مجموعة متفاعلة الى نقطة الاتزان عادة بتغيير نسب تركيز المواد المشتركة فى التفاعل ٠

وفى حالة التفاعلات التى تجرى داخل المحولات يلاحظ أن المواد الموجودة فى الخبث تتفاعل مع المواد الموجودة فى المعدن وللتمييز بين تركيز المادة فى المعدن وفى الخبث جرى العرف على التعبير عن تركيز المواد فى المعدن بوضعها بين قوسين مستطيلين [ ] وتركيز المواد فى الخبث بوضعها بين قوسين مستديرين ( ) ٠

ويعبر عن المواد الغازية الداخلة فى تفاعل ما عادة بضغطها الجزئى (ض) أى أن ثابت الاتزان للتفاعل :

٢كأ + أ٢ $\rightleftarrows$ ٢كأ٢ كالآتى :

$$ثر٠ = \frac{ض^{٢}\ كأ_{٢}}{ض^{٢}\ ك \times ض\ أ_{٢}}$$

٤ ـ المبادىء الأساسية لتحويل الزهر

يحتوى الحديد الزهر على عنصر الحديد متحدا مع عدد من العناصر الكيميائية الأخرى أهمها الكربون والمنجنيز والفوسفور والكبريت والسليكون ٠

وتتوقف نسب هذه العناصر فى الحديد الزهر على التركيب الكيميائى للمواد الخام المكونة لشحنة الفرن العالى وفى مقدمتها خام الحديد وفحم الكوك والحجر الجيرى كما تتوقف أيضا على طريقة تشغيل الفرن العالى نفسه وعموما يحتوى الحديد الزهر على ٣ – ٥ر٤٪ من الكربون ، ١٥ر٠ – ٥ر٢٪ للمنجنيز وتصل نسبة الكبريت به الى ٣ر٠٪ ، ٠٢٥ر – ٥ر٢٪ من الفوسفور ، ٥ر٠٪ – ٤٪ من السليكون ·

وعند تنقية الحديد الزهر بتحويله الى صلب يجب أن تزال هذه العناصر جميعا أو على الأقل تخفض نسبتها كثيرا وتنقسم طرق انتاج الصلب – ومنها طرق النفخ – من وجهة النظر الكيميائية الى أسلوبين رئيسيين :

الأسلوب الحمضى ، والأسلوب القاعدى :

ويمكن ازالة كل من الكربون والمنجنيز والسليكون بسهولة نسبية فى أى من هذه الطرق سواء كانت حمضية أو قاعدية ولكن ازالة كل من الفوسفور والكبريت تتطلب ظروفا خاصة يمكن توافرها فقط بتطبيق الأسلوب القاعدى حيث يضاف الجير الى الشحنة لتكوين خبث قاعدى ويستطيع الخبث القاعدى تكوين مركبات مع الفوسفور والكبريت أثناء عمليات التنقية وبذلك يتخلص المعدن من كليهما ·

وتبعا لطبيعة الخبث الكيميائية يجب أن تجرى كل طريقة فى جهاز يبطن بحراريات لها تركيب كيميائى خاص والا تفاعلت مع الخبث وتعادلت مع مكوناته فتتدهور البطانة سريعا ·

ويتحد الاكسجين بالعناصر غير المرغوب فيها (باستثناء الكبريت) والتى يطلق عليها اسم الشوائب كما يتحد بعض الحديد – وهذا أمر لا مفر منه وتتكون أكاسيد يغادر بعضها منطقة التفاعلات على هيئة غازات ويشترك البعض الآخر فى تكوين الخبث ·

والكبريت لا يمكن ازالته باتحاده مباشرة مع الاكسجين ولكن ازالته تعتمد بدلا من ذلك على قاعدين الخبث ودرجة حرارته ·

وتتابع عمليات تنقية الحديد الزهر على نحو مطرد ويلازم ذلك ارتفاع مستمر فى درجة انصهار الشحنة مما يوجب مدها بكمية وفيرة من الحرارة حتى تظل منصهرة ·

وبوجه عام تتشابه جميع أنواع الصلب ذات التركيب الكيميائى الواحد – مهما اختلفت طرق صناعتها – فى الخواص الميكانيكية والفيزيقية ·

فالصلب الذى يصنع بطرق النفخ وله نفس التركيب الكيميائى لذلك الصلب الذى يتم صنعه فى الفرن المفتوح القاعدى ـ خاصة فيما يتعلق بنسبة كل من الفوسفور والكبريت والنتروجين ـ سوف تكون خواصهما متقاربة ، وقد يستخدم فى نفس تطبيقاته العامة ٠

وهناك بعض تطبيقات يفضل فيها استخدام الصلب المصنوع بطرق النفخ ـ خاصة صلب بسمر ـ عن الصلب المصنوع بأى من الطرق الأخرى لما يتمتع به من خواص ميكانيكية وفيزيقيــة مطلوبــة نتيجــة لتركيبه الكيميائى ٠

(أ) قواعد انتاج الصلب بطرق النفخ :

لانتاج الصلب بطرق النفخ يدفع الهواء ـ أو غاز الاكسجين النقى أو ـ خليط منهما أو غيرهما من الغازات الأخرى المؤكسدة ـ تحت ضغط خلال الحديد الزهر أو فوق سطحه وبذلك يتحول الى صلب ٠

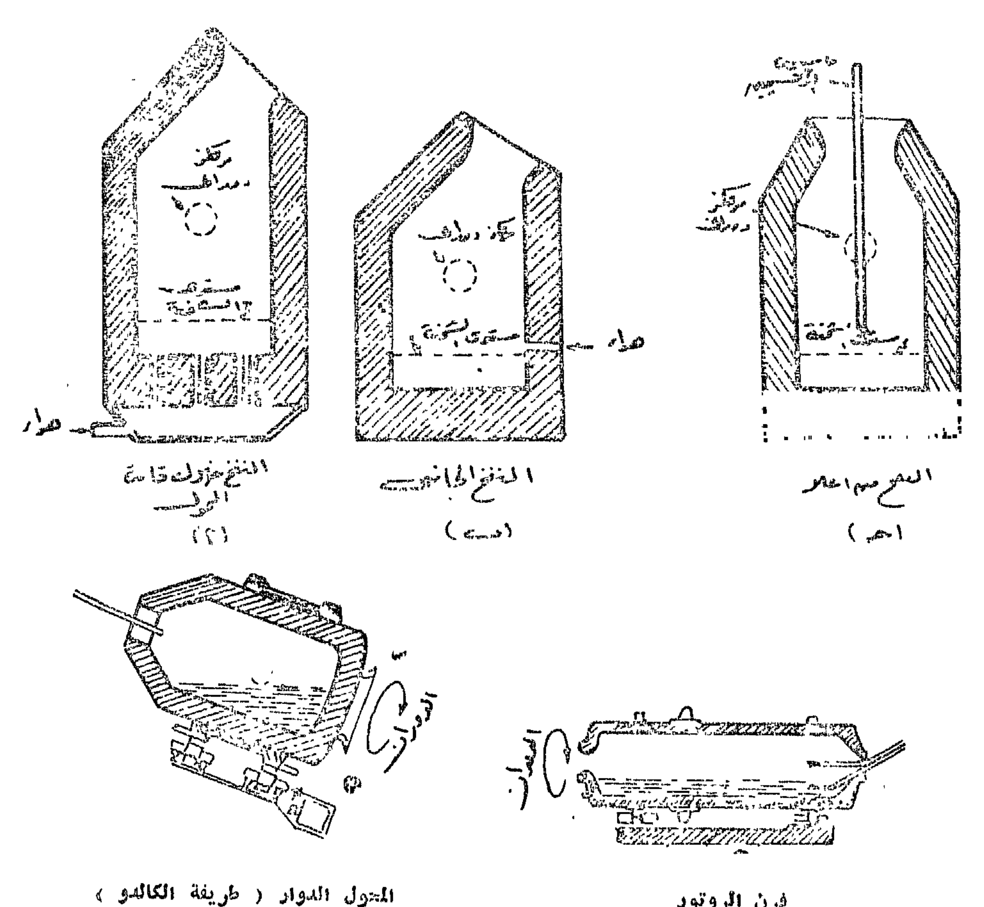
واذا استخدم الهواء منفردا لنفخ الحديد الزهر فان النتروجين الذى يمثل أربعة أخماس حجمه لا يقوم بأى دور مفيد بل على النقيض من ذلك فانه يأخذ معه عند مغادرته الشحنة المنصهرة كمية لا بأس بها من الحرارة كما يعمل من ناحية أخرى على افساد خواص الصلب المنتج عند تذاوب جزء منه فى المعدن المنصهر وعلى ذلك تختفى المشاكل التى تنشأ عن وجود النتروجين اذا استخدم الاكسجين نقيا فى نفخ الحديد الزهر ٠

وهناك طرق مختلفة يمكن فيها مد الشحنة المنصهرة بالغاز المؤكسد ، وفى الوقت الحاضر تستخدم خمس طرق لانتــاج الصلب تجــاريا وهى موضحة تخطيطيا فى شكل (٧) ٠

ويعتبر انتاج الصلب بأسلوبيه الحمضى والقاعدى فى المحول من النوع الأول حيث ينفخ الهواء خلال قاعدته بمثابة العمود الفقرى لهذه الصناعة ٠ (أنظر شكل ٧) ٠

وفى هذه الطريقة ينتقل هواء النفخ خلال الارتفاع الكلى للمعــدن المنصهر حيث يقوم بأكسدة الشوائب وتحويل الحديد الزهر الى صلب ٠

أما المحول من النوع الثانى (ب) حيث ينفخ الهواء جانبا فيمــكن اعداده كى يكون النفخ خلال المعدن نفسه أو مماسا لسطحه ٠



فرن الروتور　　　　المحول الدوار (طريقة الكالدو)

شكل (٧) : يبين الطرق المختلفة لصناعة الصلب بطرق النفخ

وعلى الصعيد العالمى لم يحظ هذا النوع من المحـولات بالانتشـار الواسع اذ ظهر عند التطبيق كثير من مشاكل الصيانة وغيرها ٠

أما فى النوع الأخير من المحولات (جـ) حيث ينفخ الاكسجين النقى من أعلى خلال فوهة المحول من ماسورة تبرد بالمياه ويندفع الغاز بسرعة عالية وتحت ضغط شديد الى المعدن المنصهر فيتقعر سطحه وتزداد المساحة المعرضة للتفاعلات المباشرة مع تيار الغاز ٠

وفى طريقة الكالدو يدخل تيار الاكسجين مائلا بزاوية صغيرة الى سطح المعدن المنصهر الذى يوجد فى محول شبه المحولات السابقة ويميل محوره على الأفقى بزاوية ملائمة (كما فى الشكل) ويدور بسرعة معينة ٠

أما فى طريقة الروتور فيحقن غاز الاكسجين النقى تحت سطح المعدن المنصهر فى فرن اسطوانى أفقى يدور ببطء بينما يدفع تيار من اكسجين تجارى (نقاوته أقل من عادية) فوق مصهور المعدن ٠

(ب) خصائص ومميزات الصلب المصنوع بطرق النفخ :

بينما تنفرد الطرق الغازية لصناعة الصلب بميزات عديدة أهمها سرعة الانتاج وبساطة التشغيل فانها فى نفس الوقت لا تخلو من بعض العيوب الكيميائية وهذه أمكن التغلب على الجزء الأكبر منها بتطبيق طرق النفخ الحديثة ٠ فمثلا تحتوى أنواع الصلب المصنوعة فى محول بسمر بنفخ الحديد الزهر بالهواء فقط خلال قاعدة المحول عموما على نسبة عالية من الفوسفور والكبريت والنتروجين بالقياس الى النسبة المناظرة لهذه العناصر فى أنواع الصلب المصنوعة فى الفرن المفتوح القاعدى وقد تضيق الهوة بين نسب العناصر عند المقارنة بين أنواع الصلب المصنوع فى كل من محول توماس أو بسمر القاعدى) والفرن المفتوح القاعدى اذا أخذنا فى الاعتبار : الفوسفور والكبريت ولكنه من المتعذر انتاج صلب توماس تنخفض فيه نسبة النتروجين اذا استخدم فى النفخ هواء منفرد ٠

وعندما تكون نسبة كل من الفوسفور والكبريت والنتروجين فى صلب توماس مرتفعة عند المقارنة بصلب الفرن المفتوح القاعدى فان ذلك يؤدى الى رتفاع نقطة الخضوع به وزيادة مقاومته للشد بينما تخفض مطيليته عن صلب الفرن المفتوح القاعدى ٠٠ وعلاوة على ذلك فانه اذا ما ارتفعت نسبة النتروجين فى الصلب المصنوع بطرق النفخ تعرض لفقد بعض مطيليته نتيجة لما يعرف بظاهرة الازمان ٠

ويمكن تفهم سبب انخفاض نسبة النتروجين فى الصلب المنتج فى محول جانبى النفخ (حيث يمر تيار الهواء مماسا لسطح المعدن المنصهر) عنه فى الصلب المنتج فى محولات بسمر أو توماس (حيث يتم نفخ الهواء خلال قاعدة المحول) مع أن غاز النفخ فى كلتا الحالتين هو الهواء اذ أن فرصة تعرض المعدن المنصهر للنتروجين فى هواء النفخ فى الحالة الأولى تكون أقل منها فى الحالة الثانية ٠ أما فى طريقة النفخ العلوية بالاكسجين النقى فتنعدم تقريبا فرصة تعرض المعدن المنصهر للنتروجين ـ اللهم الا من الهواء الخارجى ـ وعليه تنخفض كثيرا نسبته فى الصلب الناتج ٠

وهناك عيب آخر فى طرق النفخ لصناعة الصلب يكمن فى الصعوبة

النسبية التى تواجه عملية ضبط نسبه الكربون فى المنتج النهائى باحكام ودقة كما يحدث عند صناعته فى الفرن المفتوح القاعدى اذ تمتاز الطريقة الأخيرة بفرصة مفتوحة لضبط نسبة الكربون فى الصلب المنتج ٠

ولما كانت طرق النفخ لصنع الصلب تتسم بالسرعة فانه من العسير ايقاف النفخ فى الوقت المناسب بالضبط عندما تصبح نسبة الكربون فى المعدن هى المنشودة وبالتالى كانت التشكيلة المتاحة من الصلب المنتج بهذه الطرق محدودة ولا تتعدى فى أغلب الأحيان الصلب منخفض الكربون (نسبة الكربون حوالى ٠٣ر٠٪) والصلب التجارى (نسبة الكربون حوالى ٠٥ر٠٪ أما اذا كان مطلوبا صنع صلب عالى الكربون فانه يمكن تحقيق ذلك بنفخ المعدن المنصهر حتى نسبة منخفضة من الكربون ثم اعادة كربنة الصلب باضافة مواد مكربنة ٠

يضاف الى ما سبق من العيوب عيب آخر لا يقل عنها شأنا ففى صناعة الصلب بطرق النفخ لا يمكن السيطرة بسهولة على درجة حرارة النفخ النهائى فهى رهن بعوامل عديدة منها :

الحرارة الطبيعية للحديد الزهر وهى التى يمكن قياسها بأجهزة القياس المختلفة كالمزدوجات الحرارية والحرارة الكيميائية له وهى الحرارة التى تتولد عند أكسدة الشوائب ويمكن حسابها من معادلات التأكسد ، ونسبة الغازات المؤكسدة فى غازات النفخ ودرجة حرارته وغيرها من العوامل الأخرى التى اذا ماأضيف اليها عامل السرعة فى هذه الطرق أصبح التحكم فى درجة الحرارة ضربا من المستحيلات ٠

وفى السنوات الأخيرة أصبح فى الامكان تطوير طرق النفخ حتى يمكن التغلب على القصور الموجود بالطرق القديمة السابقة وقد تحقق ذلك بفضل استخدام الاكسجين النقى والهواء المزود بالاكسجين وخليط من الاكسجين والبخار وخليط من الاكسجين وثانى أكسيد الكربون وغيرها من الغازات المؤكسدة الأخرى أو خليط منها ٠

الفصل الثانى

الحراريات المستخدمة فى المحولات

تعتبر المواد الحرارية من العناصر الأساسية التى تلزم انتاج الصلب من المحولات ، ذلك أنها تعد الجزء الواقى من تأثيرات الحرارة الشديدة التى تتسم بها عمليات انتاج الصلب ٠

ومن اللازم أن يكون انتقاء المادة الحرارية التى تصلح للتعامل مع الحديد الزهر الداخل الى المحولات بحيث تتمكن المادة الحرارية من مواجهة التأثيرات الحرارية والكيميائية للحديد الزهر والخبث بشتى التفاعلات المصاحبة لعملية تحويل الحديد الزهر الى صلب ٠ كذلك يشترط أن تتصف المادة الحرارية بقوة مقاومة ميكانيكية جيدة للصمود أمام الحركة الميكانيكية للمحول والتأثير الميكانيكى للنحات الناشىء عن حركة الهواء أو الأكسجين (الوسط المؤكسد) داخل المحول وحركة حمام المعدن المنصهر على سطح الحراريات ٠

ويحدث تأثير مشترك بين سطح المعدن والحراريات المكونة لبطانة المحول وقاعدته وكذلك بطانة الخلاط ٠

وينبغى أن تكون خواص المادة الحرارية فيزيقيا وكيميائيا بحيث يمكنها مقاومة هذا التأثير المشترك لفترة زمنية طويلة تختلف تبعا لاقتصاديات العملية وتسمى هذه الفترة بعمر آداء المادة الحرارية أثناء التشغيل وهى عامل هام لتحديد نظام تشغيل الوحدة ٠

وتتحدد الخواص المطلوبة من المادة الحرارية كالآتى :

١ ــ **الصمود للحرارة :** أى المقدرة على تحمل درجات الحرارة العالية بدون أن تتصدع ٠

٢ ـ **المقاومة للحريق** : اى المقدرة على أن تظل صلبه تحت أحمال عند درجات الحرارة العالية • وقد وجد ان الطوب الحرارى الذى يتعرض لأحمال معينة ـ مثلا وزن الطوب الذى قد شيد فوقه أو قد يعرض لضغوط جانبية نتيجة لتمدد الطوب المجاور له فى المحول ـ يبدأ فى فقد صلابته وتشوه أبعاده عند درجة حرارة أقل من صموده للحرارة •

ودرجة الحرارة التى عندها يبدأ **التشويه الديناميكى** « أى تحت أحمال لها أهمية خاصة للحراريات المستعملة فى تبطين المحولات وتقاس بدرجة حرارة محسوبة عند ضغط قدره ٢ كجم/سم٢ على مساحته المطلوبة •

٣ ـ **المقاومة للصدمات الحرارية** : أى مقدرة الطوب الحرارى على مقاومة التشقق عند التعرض لتغيير فجائى حاد فى درجة الحرارة •

٤ ـ **المقاومة للنشاط الكيميائى مع الجلخ** : وهى قدرة الحراريات على الثبوت أمام التفاعلات الكيمائية فكلما قلت قدرة المعدن (والجلخ فى حالة الانصهار على استهلاك الحراريات) كلما زادت كفاءتها •

أنواع الحراريات

تختلف الحراريات تبعا لاستعمالها ففى محولات بسمر تستخدم الحراريات الحامضية وفى محولات توماس تستخدم حراريات قاعدية وهكذا ••• وهناك أيضا حراريات متعادلة وحراريات خاصة •

أولا : الحراريات الحامضية :

طوب ديناس :

ويصنع هذا الطوب من الكوارتز المجروش مضافا اليه كمية صغيرة من الطفل الحرارى وماء الجير كمادة لاصقة • ويتكون الكوارتز أساسا من ثانى أكسيد السليليكون س أ ٢ وهو يستعمل اما بللوريا أو غير بللورى•

عند تسخين الكوارتز يبدأ فى التحول الى أشكال مختلفة فهو يتحول الى تريديميت ثم كريستوباليت مع زيادة فى الحجم وتبعــا لذلك تقل كثافة النوعية •

ويتمدد طوب ديناس عند رفع درجة حرارته وتعتبر هذه الخاصية

ديرة لها أهميتها فعند تبطين المحول مثلا تتماسك حلقات الطوب باحكام كبير نتيجة للضغط الناتج عن تمددها ٠

وطوب ديناس له مقاومة كبيرة للحريق وهو يفضل غيره من الحراريات فهو يتمدد حتى درجة ٦٠٠ درجة م ثم ينبت تقريبا عند درجات حرارة أعلى من هذه الدرجة ٠

ثانيا : الحراريات القاعدية

بودرة المجنزيت :

يتكون خام المجنزيت من كربونات الماغنسيوم مع أ ٣ وعند تحميص هذا الخام يتحول الى أكسيد الماغنسيوم مغ أ طاردا ثانى أكسيد الكربون ك أ ٢ وبطحن أكسيد الماغنسيوم نحصل على بودرة المجنزيت ٠

وتستعمل بودرة المجنزيت كمادة أوليــة لصـــناعة طوب المجنزيت وكرومجنزيت لصناعة بطانة محولات توماس التى تستخدم أكسجينا فى النفخ ٠

الدولوميت المحروق :

الدولوميت الخام يتكون من كربونـــات الكالسيـــوم والماغنســـيوم (كاكأ٣ ٠ مغكأ٣) مع بعض الشوائب مثل السليكـا والألومينا وأكاسيد الحديد ٠ ويكون الدولوميت صالحا للاستعمال اقتصاديا اذا احتوى على أكثر من ٢٠٪ أكسيد ماغنسيوم وعلى أقل من ٧٪ سليكا ٠ ويمر الدولوميت بمراحل مختلفة حتى يكون جاهزا للاستعمال كقوالب لبناء بطانة توماس أو قواعد له ٠

أولا : يخلط الدولوميت الخام (الكربونات) بالفحم بنسبة ١ : ١ حجما ثم يحمص فى الفرن الاسطوانى عند درجة حرارة حوالى ١٤٠٠° م والفحم هو المصدر الوحيد لهذه الحرارة ٠٠ أثناء التحميض للدولوميت الخام تتصاعد ما به من رطوبة كلية ثم يتحلل الدولوميت طـــاردا ثانى أكسيد لكربون وفى النهاية نحصل على أكسيدى الكالسيوم والماغنسيوم تبعا للمعادلتين الآتيتين :

كاكأ٣ ⟵ كاأ + كأ٢

مغ ك أ٣ ⟵ مغأ + كأ٢

ثانيا : يؤخذ الدولوميت المحروق الى اكسيدى الكالسيوم والماغنسيوم فور خروجه من الفرن الاسطوانى ثم يدخل فى طواحين لطحنه وتكسيره ٠

ثالثا : بعد طحن الدولوميت المحروق يمرر على مناخل متدرجة أى يمر أولا على مناخل ضيقة فسيقط الدولوميت الناعم ثم بعد ذلك يمر على منخل أوسع منه فيسقط الدولوميت الأصغر من فتحات هذا المنخل وهكذا وفى النهاية نحصل على تصنيف لهذا الدولوميت المحروق ٠

رابعا : يؤخذ خليط معين من هذا الدولوميت المصنف فيؤخذ من كل حجم كمية معينة تحددها المواصفات وذلك للحصول على أكبر قوة تحمل سواء فى قوالب الطوب أو فى القوالب تماما كما يحدث فى تصنيف خلطة المونة فى المبانى فخلطة المونة تتكون من نسب ثابتة من الرمل والزلط والركام والاسمنت والماء ٠

خامسا : تخلط تصنيفة الدولوميت بالقار بنسبة معينة وهذه النسبة تكون ١٢٪ للقواعد ، ٩ - ١٠٪ للطوب ويتم الخلط فى طواحين خلاطة ٠

ويقوم القار بمهمتين أساسيتين :

١ - يستخدم كمادة لاصقة ٠

٢ - يستخدم لحماية أكسيدى الكالسيوم والماغنسيوم من التميؤ بواسطة بخار الماء والرطوبة الموجودتين فى الجو اذ أن أكسيد الكالسيوم شره لامتصاص بخار الماء ٠

وهنا يكون الدولوميت القارى (أى المخلوط بالقار) معدا لاستخدامه فى صناعة قوالب الطوب والقواعد اللازمة لمحولات توماس ٠

طوب الدولوميت :

عجينة الدولوميت القارى التى سبق تجهيزها تستخدم لصناعة الطوب الدولوميتى ومن المستحسن أن تكون معظم حبيبات الدولوميت أقل من ٢ مم ويضاف الى هذه العجينة بقايا البطانة القديمة بعد تكسيرها ويمكن استخدام البقايا حتى ٥٠٪ من العجينة ٠

ولعمل القوالب تستخدم ماكينة القولبة حيث توضع العجينة فى قوالب وتضغط بشدة تحت ضغط حوالى ٣٠٠ كجم / سم ٢ فتأخذ شكل القالب والقالب يكون عادة مسلوبا أى مساحة مقطعة يكون على شكل شبه

منحرف حتى يمكن عمل الحلقات المتتالية للبطانة وهى تشبه عمود المنازل والمساجد ٠

وتحدد أبعاد الطوبة حسب استعمال المحـول ففى المحـول الذى يستخدم فيه أكسجينا خالصا تكون أبعاد الطوبة ٤٠ × ٥ر١٧ × ٥ر١٧ سم ووزنها ٣٦ كجم ٠

طوب المجنزيت :

طوب المجنزيت يصنع من بودرة المجنزيت الناعمة مضافا اليها من ٢ ـ ٥ر٢٪ طفل حرارى كمادة لاصقة ويرطب الخليط الى حوالى ٥ ـ ١٠٪ ثم يشكل الى طوب تحت ضغط عالى بعد ذلك يجفف ببطء تفاديا لحدوث أى تشققات ثم يحرق عند ١٥٠٠° م ولكى يستخدم طوب المنجنزيت بكفاءة فى محول ينفخ بالاكسجين الخالص لا بد وأن يخضع للمواصفات الآتية :

الصمود للحرارة ـ (°م)	٢٠٠٠°م على الأقل
أكسيد الماغنسيوم بها	٩١٪على الأقل
أكسيد الكالسيوم بها	٣٪ على الأكثر
أعظم قدرة لها على تحمل الضغوط	٤٠٠ كجم / سم ٢ على الأقل
الوزن النوعى	٦ر٢ كجم / سم ٣ على الأقل
التشويه الحرارى الديناميكى	
عند ٢ كجم / سم ٢	١٥٠٠° م على الأقل

وفى بعض الأحيان تصنع المادة الحرارية الملاصقة للمعدن والجلخ فى المحول من طوب مجنزيت خالص له **التركيب التالى :**

س أ٢	٩٥ر٠ـ٠٦ر١ /
ك٢أ٣	٨٥ر٠ـ٧ر١٪
ح٢أ٣	٧ر٠ـ٢٧ر٧ ٪
كاأ	٢٦ر٢ـ٦٨ر٢ ٪
مغأ	٧ر٨٦ـ٥ر٨٧ ٪
كب أ ٣	ـ ٪
فو أ	٨٥ر٠ـ٧١ر٠ ٪
رماد يفقد أثناء الحرق لغاية	٢٤ر٠ ٪

وتكون له الخواص الطبيعية والتكنولوجية الآتية :

المسامية الظاهرية	١ر١٣ ـ ٦ر١٣٪
الكثافة	١٤ر٣ جم / سم ٣
الوزن النوعى	٣٦٢ر٣
التشويه الحرارى الديناميكى	
عند ٢/٥ كجم / رسم ٢	١٨٣٠ـ١٨٤٠°م

طوب الكرومنجنزيت :

يصنع هذا الطوب من خليط من بودرة المجنزيت والكروميت المطحون بنسب مختلفة ، والكروميت خام حرارى طبيعى متعادل يحتوى على أكسيدى الكروم والحديد ح أ ، كر٢ أ٣ مع بعض الشوائب مثل أكاسيد السيلكون والالومونيوم والماغنسيوم . وصمود الكروميت للحرارة عال نسبيا اذ يبلغ ٢١٨٠° م ولكن ما به من شوائب تخفض من نقطة الانصهار .

ويمكن الحصول على طوب كرومنجزيت ذى صفات طبيعية وتكنيكية ممتازة وذلك باختيار التوزيع الحبيبى للمواد الأولية اللازمة لصناعة هذا الطوب وكذلك بتوفير أحسن الظروف للاحتراق .

الحراريات الحمضية (الشاموت) :

تصنع منتجات الشاموت من خليط من بودرة الشاموت والطفل الحرارى الجاف بعد طحنه وكمية الألومنيا بالطفل الحرارى هى التى تحدد درجة هذا النوع من الحراريات (درجة أ ، ودرجة ب ، ودرجة حـ) .

وهذه هى نسب مكونات طوب الشاموت :

س أ	٥٢ـ٦٠ ٪
كر٢أ٣	٣٠ـ٤٢ ٪
ح ٢ أ ٣	٥ر١ـ٣ ٪
كا أ	٣ر ـ٧ر ٪
فو أ	١ر ـ٥ر ٪

والمواصفات التى يجب أن تتوافر فى طوب الشاموت وهى :

	درجة أ	درجة ب	درجة جـ
الصمود للحرارة °م	١٧٣٠	١٦٧٠	١٦١٠
التشويه الحرارى الديناميكى عند ٢ كجم / سم ٢ °م	١٣٠٠	لم تحدد	
مقدرة تحمله للضغط كجم /سم٢	١٢٤	١٢٥	١٠٠
المسامية الظاهرية	٣ ٪	٣٠ ٪	لم تحدد

ومن الشاموت يصنع الطوب الحرارى للبوادق كذلك يستخدم فى كثير من الادوات المستخدمة فى الصلب مثل عمود الصب ٠

(الفصل الثالث)

الخلاط

يوجد فى وحدات انتاج الصلب خلاط أو أكثر فى موقع وسط بين أجهزة انتاج الحديد الزهر وأجهزة انتاج الصلب فينقل الحديد الزهر فى بوادق تصب فى الخلاط حيث يختزن بعض الوقت لحين شحنه فى أجهزة الصهر بواسطة بوادق شحن ٠

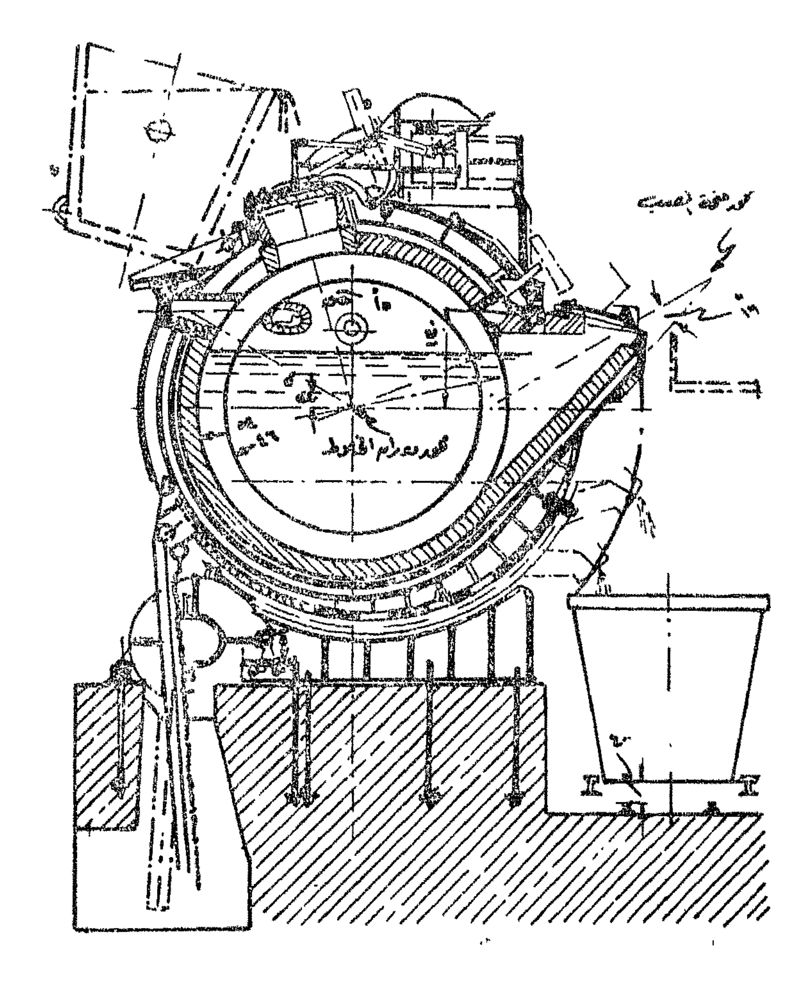
والوظيفة الأساسية للخلاط هى الاحتفاظ بالحديد الزهر منصهرا لحين استعماله حتى يمكن لأجهزة الصهر أن تواصل عملها بكيفية منتظمة ومرضية ٠

والخلاط وعاء اسطوانى كبير يصنع من ألواح الصلب المبرشمة أو الملحومة ويبطن من الداخل بطوب حرارى ٠

ويستقر الخلاط على محامل (كراسى) خاصة مثبته فى قاعدة متينة من الخرسانة المسلحة ويمكن امالة الخلاط كهربائيا أو هيدروليكيا حول محور أفقى بمساعدة اسطوانات تتدحرج على المحامل ، ويراعى عند تصميم الخلاط أن يكون محور دورانها مزاحا قليلا ناحية فتحة الصب حتى تعمل قوة الجاذبية الأرضية على اعادة الخلاط الى وضعه الأصلى (انظر شكل (٥) ٠

ولكى يحتفظ الخلاط بأكبر كمية من الحرارة أى يكون الفقد فى الحرارة أقل مايمكن يجب أن تكون المساحة السطحية للخلاط أقل مايمكن بالنسبة الى حجمه ويتحقق ذلك عندما تكون النسبة بين طول الخلاط الى قطره مساوية أو أكبر قليلا من الواحد الصحيح ٠

وللخلاط فتحتان احداهما لشحنه بالحديد الزهر والثانية لصبه منه الى أجهزة الصهر وتغطى كل فتحة بغطاء من الحديد المبطن بالطوب الحرارى ٠



شكل (٥) : خلاط سعته ٦٠٠ طن

وتستخدم غازات الافران والمازوت فى توليد الطاقة الحرارية اللازمة لحفظ درجة حرارة الحديد المنصهر داخل الخلاط عند ١٣٠٠ درجة م تقريبا .

وتحدد سعة الخلاط بمعرفة كمية الحديد الزهر اللازمة لتشغيل وحدات الصهر من ٨ ـ ١٠ ساعات .

واستعمال الخلاط بسعة مناسبة يحقق الاغراض التالية :

١ ـ استمرار وحدات الصهر فى التشغيل دون ارتباك اذا كان هناك أى عطل فى الأفران العالية أو تأخر الحديد الزهر القادم منها لسبب أو لآخر .

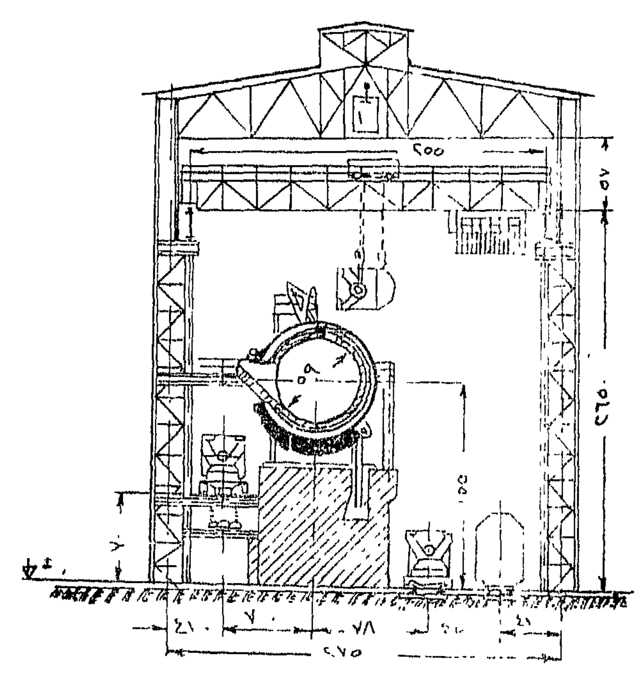
٢ ـ العمل على تجانس الحديد الزهر القادم من الافران المختلفة ومن الصبات المختلفة أيضا فتخرج الشحنات الى وحدة الصهر ذات تركيب كيميائى متماثل مما يساعده على انتظام التشغيل فيها .

٣ ـ المحافظة على درجة حرارة الحديد الزهر عند حد معين مناسب حتى تتم التفاعلات الكيميائية بكيفية سلسلة ومنتظمة .

٤ ـ اتاحة الفرصة لخفض نسبة الكبريت فى الحديد الزهر الى حد ما ويتحقق ذلك عن طريق التفاعل الطارد للحرارة الآتى :

ح كب + م = م كب + ح

وتعتمد ازالة الكبريت من الحديد الزهر على كمية المنجنيز الموجودة به كما تتوقف على زمن نقل الحديد الزهر من الافران العالية بواسطة البوادق الى الخلاط حيث ينضم كبريتيد المنجنيز الناتج الى الخبث ويشترك فى تكوينه ونتيجة للتفاعل المشار اليه يتكون على سطح الحديد الزهر فى الخلاط بعض الخبث المحتوى على نسبة كبيرة من الكبريت ويجب ازالة هذا الخبث سواء عند شحن الخلاط بالحديد الزهر أو صبه منه فى بوادق شحن أجهزة الصهر .

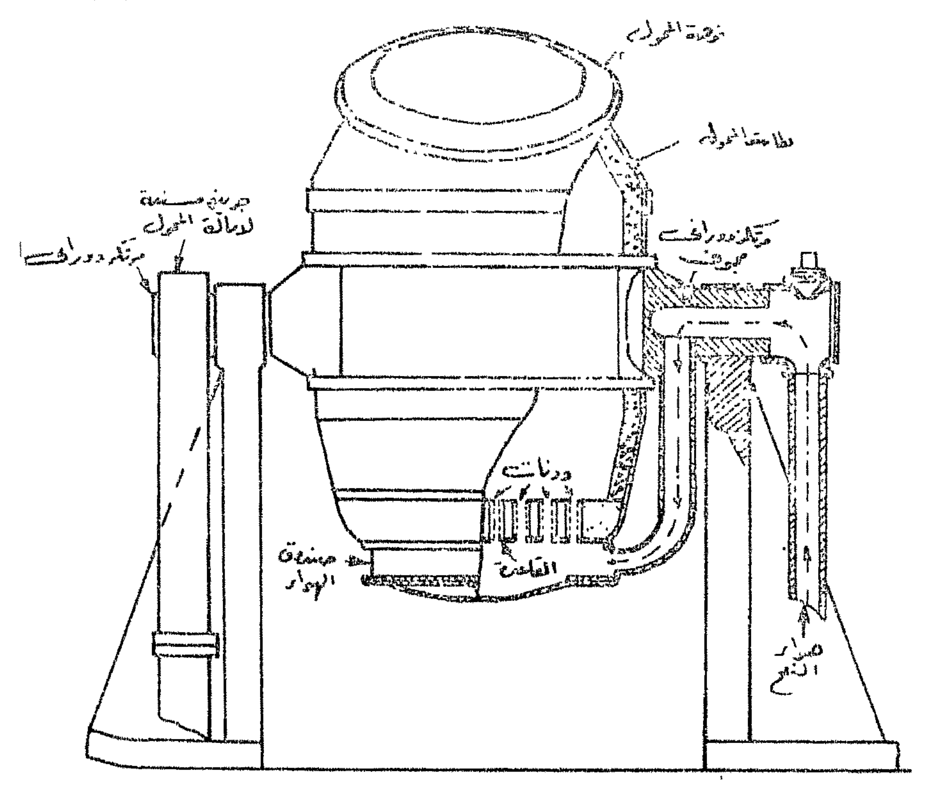


شكل (٦) : قطاع فى قسم الخلاط ـ وهو مقام فى مصنع حديث لمحولات بسمر .

الفصل الرابع

انتاج الصلب من محولات بسمر

يحدد أبعاد عملية تحويل الصلب فى محولات بسمر بناء على البطانة الحرارية الحامضية للمحول والتحليل الكيميائى للحديد الزهر . وتتم العملية بالاستفادة من الحرارة الفيزيقية للحديد الزهر المنصهر وكذلك الحرارة المتصاعدة نتيجة أكسدة الشوائب بفعل الاكسجين الموجود فى هواء النفخ ويعتبر السليكون هو العنصر الأساسى للامداد الحرارى لصبة المحول ويكون الخبث الناتج من محول بسمر غنيا بالسايكا (س أ٢) الناتجة عن أكسدة السليكون الموجود فى الحديد الزهر والسليكا الموجودة



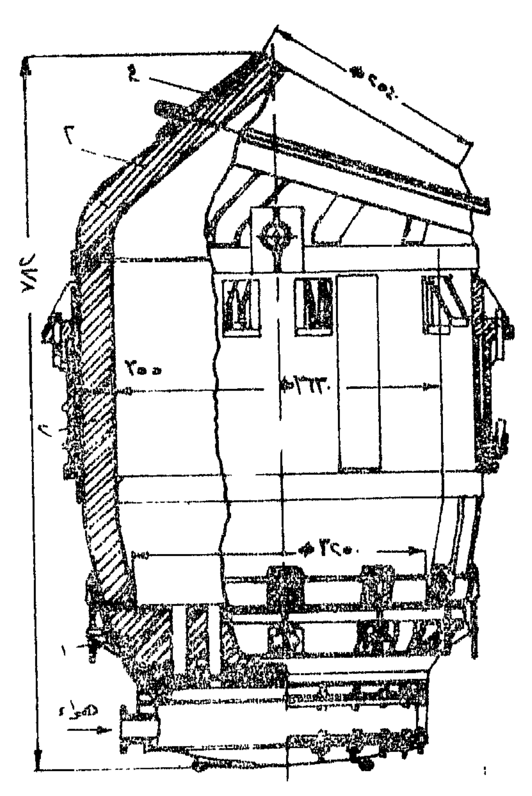
شكل (٨) يوضح تفاصيل المحول ، وكيفية دخول هواء النفخ فيه

فى البطانة الحامضية وتعوق الطبيعة الحمضيه لخبث محولات بسمر وجود سليكا غير متحدة ازالة الكبريت والفوسفور من المعدن ٠

ويدخل الهواء الى المحول فيساعد على تقليب شحنة المحول بشده ويتخلل هواء النفخ حمام المعدن فيتأكسد الحديد فى أول الأمر باعتباره المكون الأساسى للحديد الزهر وينتشر أكسيد الحديد الناتج عن أكسدة الحديد خلال شحنة المحول مؤديا الى اختزال السليكون والمنجنيز والكربون الموجود فى الحديد الزهر ٠ وقد يتأكسد بعض هذه الشوائب مباشرة بالهواء الجوى ويؤدى التقليب الشديد فى حمام المعدن الى زيادة مساحة سطح التلامس للتفاعلات بدرجة كبيرة فتتعاظم سرعة التفاعلات ٠

١- تصميم محول بسمر

يبين شكل (٩) رسما تخطيطيا لاحد محولات بسمر وتبلغ سعتة ٣٥ طنا ٠



شكل (٩) محول بسمر يسع ٣٥ طنا :

١ - قاعدة المحول — ٢ - الجزء الاسطوانى

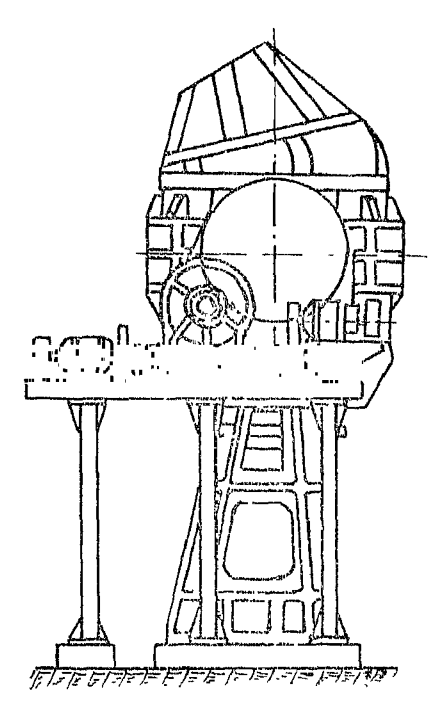
٣ - غطاء المحول — ٤ - فوهة المحول

جسم المحول :

يصنع من ألواح فولاديه سميكة ملحومة مع بعضها البعض أو تمسكها مع بعضها سرائط حاكمه · ويتراوح سمك الألواح بين ١٥ ـ ٢٥ ملليمترا تبعا لسعه المحول ويتضمن جسم المحول ثلاثة أجزاء : وعاء اسطواني له قاعده يمكن تغييرها وجزء مخروطي علوى وفوهه قابلة للاستبدال تصنع من الصلب المصبوب

وتكون قاعدة المحول ذات شكل أسطواني أو مخروطي ويكون تصميمها بحيث يمكن تثبيت صندوق لهواء النفخ ليمر هذا الهواء من خلاله الى المحول وعند تغيير القاعدة يتم فصلها عن الجزء الاسطواني وصندوق الهواء ·

ويحيط بالجزء الاسطواني من جسم المحول حزام مصنوع من الصلب المصبوب يتصل بترسين مركبين على كراسى تحميل ويكون أحد الترسين مجوفا ليمر خلاله هواء النفخ حتى صندوق الهواء ويرتبط الحزام بجسم المحول بمجموعة من المواسك (قباقيب) وعادة يكون قطر الحزام أكبر من



شكل (١٠) : محول قائم على قاعدته ، ويرى بالشكل جهاز ادارته بالكهرباء ·

قطر المحول وبينهما فجوة هوائية لتجنب الأضرار الناشئة على الحزام من تمدد جسم المحول والحيلولة دون تشوه الحزام ويمكن امالة المحول بواسطة موتورين كهربائيين ويمكن لاحدهما منفردا أن يحرك المحول ويكون الآخر احتياطيا ٠

وأحيانا تتم امالة المحول بطريقة هيدروليكية عن طريق ترس وجريدة مسننة حيث يتصل الترس بحزام المحول وبتحريك الجريدة لأعلى وأسفل يمكن امالة المحول للأمام وللخلف ويبلغ الضغط الهيدروليكي اللازم لتشغيل المحول ٣٠ ــ ٥٠ جوى ٠

ويقع محور مركزى الترسين على ارتفاع من الأرض يسمح بدخول عربة تحميل بودقة لتلقى صبة الصلب بعد انهائها من المحلول وكذلك دخول قطار سكك حديدية يحمل وعاء أو بودقة لتلقى خبث الصبة ٠

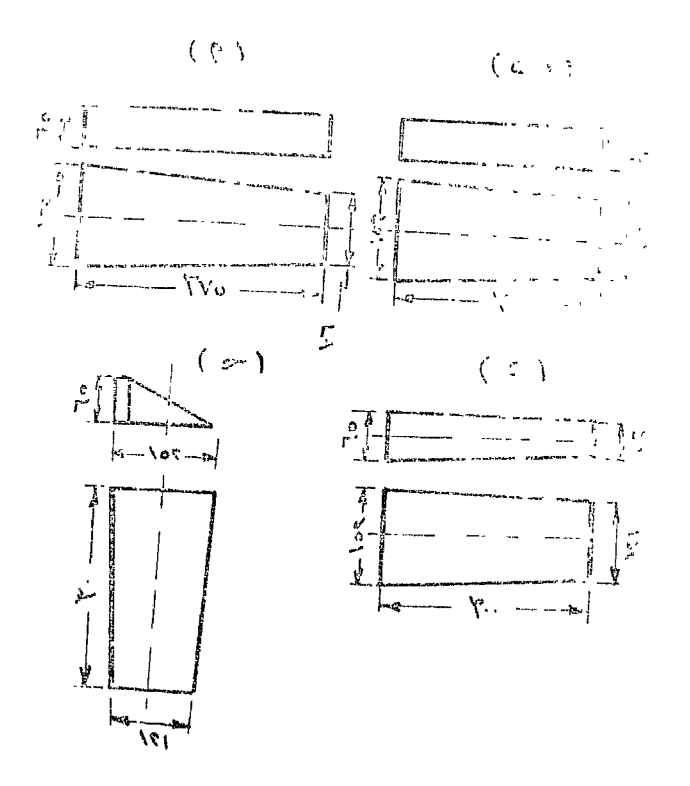
بطانة المحول :

تصنع بطانة محول بسمر من طوب ديناس ويتخذ الطوب هيئة تتسق مع شكل جسم المحول وتتفق أبعاده مع قطر المحول ٠

وتترك مسافة ٣٠ ــ ٥٠ مم بين طوب البطانة وجسم المحول تملأ بحبيبات ناعمة من نفس مادة الطوب الحرارى بعد خلطها بالمونة اللازمة لتماسكها ، ويتراوح سمك البطانة الحرارية بين ٢٥٠ ــ ٤٠٠ مم ويزداد السمك عند المناطق المعرضه أكثر من غيرها للتآكل ٠ وتحتوى المونة المستخدمة على ٨٠ ــ ٩٠٪ من مسحوق الكوارتز بحجم حبيبى لا يزيد عن مليمتر واحد ، ٢٠ ــ ١٠٪ من طفل حرارى مسحوق بعد خلطه بالماء حتى يصبح غليظ القوام ٠ ويراعى تخليط المونة جيدا قبل اضافة الماء واستخدامها فى غضون ٦ ساعات بعد اضافة الماء ٠

ويوضح شكل (١١) انواع الطوب الحرارى المستخدم فى البطانه وتصنع الصفوف العشرة السفلية من الطوب (أ) والجزء الاسطوانى من الطوب (ب) بينما يبنى الجزء الكروى والفوهة من النوعين (جـ) ، (هـ) بتوافقات محددة فى كل صف ٠

وينبغى العناية أثناء التبطين بحيث يوضع الطوب دون تنصيفه أو تجزئته مع ملء الفراغات بالمونة جيدا ٠٠ وبعد انتهاء التبطين ينبغى تجفيف البطانة وتسخينها (تحميصها) لتجنب التشقق الذى يمكن أن



شكل (١١) : اشكال الطوب التى ستخدم لبناء الأجزاء المختلفة من المحول ٠

يعتريها اذا تعرضت لصدمة حرارية (تسخين مفاجىء) وتجرى عملية التجفيف والتحميص بفحم الكوك أو الغاز الطبيعى مع الاستعانة ببعض الاخشاب ٠ فى أول الأمر ٠ ويراعى التحكم فى درجة الحرارة أثناء التحميص عن طريق ازدواجات حرارية توضع عند قمة الجزء الاسطوانى من المحول على بعد ٢٠ ــ ٢٥ مم من السطح الداخل للبطانة ويعطى البرنامج التالى صورة لعملية التحميص وسيرها :

من ١٠°م حتى ٢٢٠°م بمعدل ٢٠°م فى الساعة لمدة ٧ ساعات
من ٢٢٠°م حتى ٥٢٠°م بمعدل ٦٠°م فى الساعة لمدة ٥ ساعات
من ٥٢٠°م حتى ٩٠٠°م بمعدل ١٠٠°م فى الساعة لمدة ٤ ساعات

اجمالى فترة التسخين ١٦ ساعة :

وبعد تدفئة البطانة بالخشب وفحم الكوك ينفخ جزء من الهواء وتتبخر الرطوبة من البطانة نتيجة لذلك ، وبعد نفخ عدد من الصبات فى المحول

يراعى فحص البطانة فحصا كاملا وبعالج العيوب والتشققات التى قد تظهر بها بواسطة مركب من الكوارتز والطفل الحرارى ٠

قاعدة المحول :

تتخذ قاعدة محول بسمر احدى صورتين : اما قاعدة جاسئة من الشاموت تحتوى على عدد كبير من الفتحات منتظمة المقطع وأما ما يسمى بالقاعدة الابرية التى تحتوى على عدد أقل من الفتحات يصلح اوضع ودنات حرارية من الشاموت الدخول هواء النفخ ويندر استخدام القواعد الأبرية فى محولات بسمر لضعف مقاومة مادة الودنات امام تأسير أكسيد الحديدوز عن القاعدة الشاموت ٠

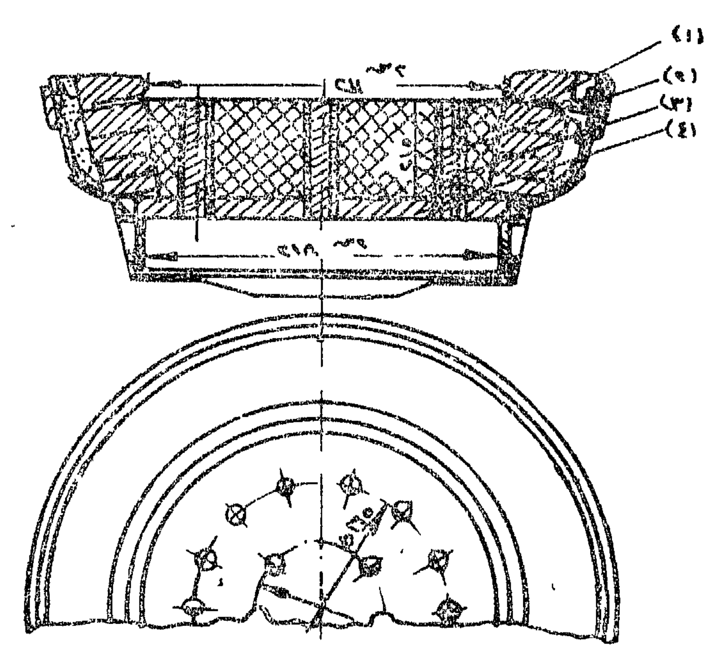
ويراعى أن تكون الخلطة المستخدمة فى دك القاعدة خلوا من الشوائب الضارة عند تشغيل القاعدة ويوضح الجدول التالى لنسب الوزنية للخلطات المستخدمة فى دك قواعد محولات بسمر (٤ خلطات) ٠

المواد	الخلطة الأولى	الخلطة الثانية	الخلطة الثالثة	الخلطة الرابعة
مسحوق كوارتز مصنع من كوارتز مبلور به ٩٥٪ س أ ٢ حد أدنى	٥٠	٤٠ـ٥٠	٣٢	—
طفل كاولين به ٢٠٪ يد٢ أ٣ حد أدنى	٣٠	—	—	—
طفل حرارى لون به ٣٢٪ لو٢أ٣ حد أدنى	١٠	٣٠ـ٢٠	٢٨	٢٤
فحم كوك ناعم	١٠	٤ ـ ١٠	٤	٨
مسحوق شاموت	—	٣٠ـ٢٠	٣٦	٦
جانبستر	—	—	—	٥٦
مخلوط قواعد مستعملة	—	—	—	٦

وتتمثل النسب الحجمية فى الجدول التالى

المادة	٥ مم	٥ ـ ١ مم	١ ـ صفر مم
كوارتز	لا يزيد عن ٥	٤٠ـ٥٠	٦٠ـ٥٠
شامـوت	لا يزيد عن ٣	٣٠ـ٤٠	٧٠ـ٦٠
طفل حرارى	ـ	٢٥ـ٣٥	٧٥ ـ ٦٥

وتخلط مكونات الخلطة جيدا وهى جـافة ثم ترطب بالميـاه بنسبة ٦ ـ ٨٪ ويتم ذلك الفراغ بين القاعدة الحرارية وجسم قاعدة المحول بمخلوط لملء هذا الفراغ مع معالجة العيوب الظاهرة فى الطوب المخروطى الشكل وتحتوى المونة الحرارية اللازمة للمخلوط المائى على ٤ أجزاء من الكوارتز ، وجزء واحد من الطفل الحرارى بالوزن ٠



شكل (١٢) يبين قاعدة من كوكة تناسب محول بسعر سعته ٢٠ طنا ٠

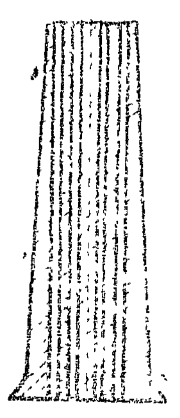
١ ـ الجزء المخروطى
٢ ـ الخليط الحرارى المدكوك
٣ ـ ودنه
٤ ـ اللوح المعدنى

ويجرى دك القاعدة على قرص من الحديد الصب به فتحات تنطبق على فتحات القاعدة ويراعى تنظيف القرص من الاتربة والمخلفات قبل أى عمل أخر وكذلك تنظيف الحراريات الخاصة بالحلقة المخروطية وذلك بالهواء المضغوط وضبط مواضع الفتحات بالقرص على الودنات ثم يدك المخلوط بالهواء المضغوط الذى لا يقل ضغطه عن ٥ ضغط جوى ويتم الدك على طبقات منفصلة وبصفة مستمرة وبضغط منتظم وبعد انتهاء دك القاعدة توضع فى فتحات الودنات سدادات ملائمة لمنع انسدادها أثناء التجفيف و التحميص ٠

وتحمص القواعد فى أفران خاصة يتم اشعالها بغاز الكوك أو بالغاز الطبيعى ويستغرق تحميص القاعدة وتبريدها بعد ذلك داخل الفرن ٣٤ ساعة ٠

ويبلغ عمر تشغيل قاعدة محمول بسمر المدكوكة ١٥ ــ ٢٥ صبه ويملأ الحيز الواقع بين القواعد الطوبية والودنات بطوب ديناس مع مونة سائلة من الكوارتز (١٢ جزءا) والطفل الحرارى (جزء واحد) بعد الخلط مع محلول مائى لسائل كبريتيدى ويستمر أداء القواعد الطوبية ١٢٠ ــ ١٣٠ صبه ولكن استخدامها ليس شائعا اذا يستلزم الأمر تغيير الودنات كثيرا أثناء التشغيل ٠

ويجرى تغيير القاعدة بواسطة عربة سكة حديد مجهزة خصيصـــا لهذا الغرض ٠



شكل (١٣) : قصبة من الساموت بها ١٢ فتحه للهواء ... قطر كل منها ١٦ مم ٠

وتحتوى القواعد المدكوكة على ٢٠ ــ ٣٥ ودنة بينما تحتوى القواعد الطوبية على ٧ ــ ١٢ ودنة وتؤدى زيادة عدد الودنات عن ذلك الى الاضرار بالبطانة ٠

عمر البطانة :

تتأثر بطانة المحول وقاعدته بتأثير الفعل الميكانيكي والكيميائي للمعدن والخبث ويبلغ التأثير اقصاه عند القاعدة والجزء السفلي من البطانة وتبلغ درجة الحرارة وتركيز أكسيد الحديدوز أقصى حد لهما في مناطق التفاعلات عند الودنات ويتفاعل أكسيد الحديدوز مع السليكا الموجودة في البطانة وفي النهاية تتلف البطانة وكلما زادت لزوجة الخبث تبعا لنسبة السليكا به كلما ازداد احتمال البطانة وتؤدى زيادة نسبة المنجنيز في الحديد الزهر الى تكوين خبث أكثر سيولة يحتوى على نسبة كبيرة من أكسيد المنجنيز يؤثر على البطانة الحمضية للمحول ٠

كما تتأثر البطانة كذلك بالتيارات الدوامية للمعدن والخبث أثناء النفخ وتبعا لطبيعة العملية (تحليل الحديد الزهر ، ودرجة حرارة التشغيل ، والطريقة المتبعة لتبريد المعدن فى المحول ، وضغط الهواء ... الخ) فان البطانة المصنعة من طوب ديناس يمكن أن تستمر ١٣٠٠ ــ ٢٠٠٠ صبه ويراعى ازالة المخلفات التى تلتصق بفوهة المحول من حين لآخر اذ أن زيادة وزنها يمكن أن تؤدى الى تدمير مبانى الفوهة وتستمر حراريات الفوهة عادة ٣٠٠ ــ ٤٠٠ صبة فى الظروف العادية قبل أن يتطلب الأمر تغييرها وتجرى عدة عمليات ترميم للبطانة أثناء تشغيلها

الأبعاد الأساسية لمحولات بسمر :

يعتمد تصميم المحول على الحجم النوعى له وهو الحجم اللازم لطن واحد من الشحنة وكلما ازداد الحجم النوعى تنخفض شدة القذف وبالتالى يزداد العائد من المعدن ويجب أن يزداد الحجم النوعى عن واحد صحيح ٠

ويتحدد القطر الداخلى للمحول من الصيغة :

$$ح = ١٤ر٠ \times و \quad \frac{ط\ ق^{٣}}{٤} \times ع \qquad \text{حيث}$$

١٤ر٠ = الحجم النوعى للمعدن م ٣/طن

و = وزن المعدن فى المحول (وزن شحنة الحديد الزهر) بالطن

ق = القطر الداخلى للمحول بالمتر ٠

ع = ارتفاع المعدن داخل المحول بالمتر ٠

ويبلغ ارتفاع الجزء الأسطوانى من المحول (١ر١ ــ ٢ر١) ق ، وكلما ازداد الارتفاع كلما انخفض القذف ويبلغ القطر الداخلى للفوهة

(٤ر٠ ـ ٦ر٠) ق وتؤدى زيادة قطر الفوهة الى زيادة القذف وانخفاض العائد من المحول وعادة ما تخضع هذه الابعاد للظروف النوعية الخاصة بكل وحدة .

وتتأثر شدة التأكسد وكذلك شدة القذف « القطاع الدائرى » وهو الفرق بين المساحة الداخلية للمحول ومساحة القاعدة وتبلغ المساحة الاجمالية المودنات لكل واحد طن من شحنة الحديد الزهر ٩ ـ ١٥ سم ٢ .

ويتراوح سمك القواعد الجديدة بين ٥٠٠ ـ ٧٠٠ ميللمتر وتحددها الصيغة الحبرية التالية :

سميك القاعدة = ٤ر٠ + ٠٧ر٠ ، حيث

ق = القطر الداخلى للمحول بالامتار .

٢ ـ المواد الأولية لشحنة بسمر

الحديد الزهر :

من البديهى أن التركيب الكيميائى للحديد الزهر يؤثر الى حد بعيد فى سير العملية حيث أن أكسدة الحديد والسليكون والمنجنيز والكربون هى المصدر الوحيد للحرارة التى تكفل لنا الحصول على صلب منصهر عند درجة الحرارة المطلوبة .

واذا ارتفعت درجة الحرارة الطبيعية للحديد الزهر الداخل الى المحول أدى ذلك الى انخفاض نسبة الشوائب التى تتأكسد وبالتبعية الى اثبات كمية حرارة أقل ويحدث نفس الشيء عندما تتوالى الشحنات تباعا وبمعدل كبيرة وكانت بطانة المحول لا تفقد الا القليل من الحرارة .

ويبين جدول (١) التركيب الكيميائى النمطى لشحنة بسمر

درجة رتبة الحديد الزهر	النسبة المئوية للعناصر			
	س	م	فو	كب
١	١ر٢٦ـ١ر٧٥	٦ر ـ١ر٢	٠٧ر	٠٦ر٠
٢	٧ر ـ١ر٢٥	٥ر ـ٨ر	٠٧ر	٠٦ر٠

وتتراوح نسبة ما يحتويه الحديد الزهر من الكربون بين ٣ر٨ – ٥ر٤٪ وقد وجد أن التركيب الكيميائى الأمثل للحديد الزهر اللازم لصنع القضبان الحديدية فى محول سعته عشرون طنا ودرجة حرارة بطانته ١٠٠٠ْم ودرجة حرارة الحديد الزهر بين ١٢٧٠ – ١٢٩٠ْم (مقاسة بواسطة بيرومتر ضوئى دقيق وبدون أى تصحيح) كما يلى :

س	٩ر–١ر١٪	كب	٠٤٥ر٪ على الأكثر
م	٦ر–٩ر ٪	فو	٠٦٦ر٪ على الأكثر

وقد وجد أنه يمكننا الحصول على أفضل النتائج فى حالة صب الصلب من أعلى اذا احتوى الحديد الزهر على ٧ر٠ – ٩ر٠ ٪ من السليكون ويؤدى زيادة نسبة السليكون فى الحديد الزهر المنفوخ الى ارتفاع الفاقد من الصلب كما يؤدى الى قصر عمر الودنات وحجرة الصهر بالمحول ويرجع ذلك الى تكوين مخلفات بسبب تراكم طبقات الخبث السليكونى تباعا · هذا بالاضافة الى أن فترة النفخ تستغرق وقتا طويلا ·

وتعمل زيادة نسبة المنجنيز فى الحديد الزهر المنفوخ (أكثر من ٩ر٪) على خفض عمر البطانة والقاعدة والودنات ·

وبارتفاع نسبه أكسيد المنجنيز (م أ) فى الخبث تزداد كثيرا درجه سيولته مما يجعله عاجزا عن تصيد المقذوفات الحديدية التى تنطلق بغزارة مخترقة طبقة الخبث ويتآكل القاعدة والبطانة فان الصلب الناتج يحتوى كثيرا من الشوائب غير المعدنية مما يفسد الكثير من خواصه ويحط من قيمته ·

ومن الاهمية بمكان أن نعلم أن النسب بين كمية السليكون وكمية المنجنيز لا تقل أهمية عن مقاديرهما المطلقة · فقد أثبتت التجارب أنه يمكننا الوصول الى أحسن النتائج اذا كانت نسبة السليكون بالمنجنيز تقع بين ٨ر١ – ٢ فاذا قلت النسبة عن ذلك نكون لدينا خبث يحتوى على كمية كبيرة من م أ تجعله ذا سيولة كبيرة وتساعد حراريات المحول على أن تبلى بسرعة ويكون الصلب الناتج منخفض الجودة ·

أما اذا تعدت النسبة الحد الأقصى كان هذا سببا فى تكوين طبقات على المحول نتيجة لتكون خبث يحتوى على نسبة عالية من السليكا ·

وفى كثير من الاحيان نعمل على ازالة الكبريت فى الحديد الزهر باضافة كربونات الصوديوم (صودا آش) فى البودقة فتتحلل كربونات

الصوديوم بواسطة الحرارة الى أكسيد الصوديوم الذى يتفاعل مع كبريتيد الحديدوز . كبريتيد المنجنيز . منتجا كبريتيد الصوديوم

ص٢ ا + ح كب = ص٢ كب + ح ا

ص٢ ا + م كب = ص٢ كب + م ا

الذى لا يذوب فى الحديد الزهر فتتكون طبقة من الخبث الكبريتى نطفو على سطح الحديد الزهر فى البودقة . وهذه الطبقة من الخبث يجب كشطها بعيدا عن الخلاط والمحول حتى لا نتلف البطانة الحرارية وحتى لا تزيد شدة المقذوفات الحديدية اذ أن وجود أى آثار من كربونات الصوديوم بالحديد الزهر المنفوخ يساعد على انطلاق هذه المقذوفات بغزارة ولهذا كان لزاما علينا أن نزيل كل الخبث المتكون نتيجة لاضافة كربونات الصوديوم بعيدا عن المحلول كما يجب علينا أن نراقب بكل دقة أى انخفاض فى درجة الحرارة يطرأ على الحديد الزهر بسبب اضافة الكربونات (اذ أن تحللها تفاعل ماص للحرارة) .

ولانخفاض درجة حرارة الحديد الزهر تمتد فترة النفخ طويلا عن معدلها العادى كما تزداد فرصة هروب الحديد مع الغازات المتصاعدة بشدة من المحول نتيجة لدرجة السيولة الكبيرة التى يضفيها على الخبث وجود وفرة من أكسيد الحديدوز به ولهذا السبب فانه يتحتم علينا أن نعمل بكل الوسائل على الحفاظ على درجة الحرارة التى تعطى لحديد الزهر السيولة المناسبة فى الخلاط وأيضا أثناء نقله من الخلاط الى المحول .

ومن المستحسن عمليا أن نذر بعض فحم الكوك الناعم على سطح الحديد الزهر فى البودقة لتغطيها بغطاء مناسب وأن يتم نقله الى المحول بسرعة كما يجب أن تتراوح درجة حرارة الخلاط من الداخل بين ١٣٠٠ — ١٣٥٠ درجة مئوية .

الخــردة :

ينحصر الغرض الرئيسى من اضافة الخردة الى المحول فى تبريد شحنة الحديد الزهر اذا قفزت درجة الحرارة فوق معدلها المناسب ومن الطبيعى أن نزداد كمية الخردة المضافة اذا تم النفخ بالهواء المزود بالاكسجين أو الاكسجين النقى .

ومن الأهمية بمكان فانه يجب ألا تتعدى نسبة الكبريت والفوسفور فى الخردة عن مثيلتها بالصلب المزمع انتاجه . وتضاف الخردة قبل أو أثناء النفخ .

خام الحديد والزوائد الناتجة عن عمليات التشكيل (النفايات) :

يضاف خام الحديد أو النفايات المعدنية الناتجة عن عمليات الدرفلة في المحول بالشحنة وبهذا يتحقق هدفان أولهما تبريد الشحنة اذا كانت درجة حرارتها مرتفعة وثانيهما زيادة الناتج من الصلب نتيجة لاختزال الحديد والنفايات ٠

ويشترط في الخام المضاف أن يكون غنيا بالحديد فقيرا للكبريت والفوسفور ٠

التحليل الكمي لخام بسمر (ويعطى التحليل الكمى لخام بسمر المستخرج من مناجم كريفوروج النتائج الآتية) :

$ح_2 أ_3$	٨٩ـ٩٥٪	فو	٠٣ر٪
$س أ_2$	٤ـ٩ ٪	كب	٠٢ر-٠٤ر٪
$لو_2 أ_3$	١ـ٣ ٪		

وتحتوى النفايات المضافة الى الشحنة على نسبة أقل من السليكا (٢ ـ ٣٪) بينما تصل نسبة الحديد فيها الى حوالى ٧٠٪ وهى نسبة أكبر من تلك التى يحتويها الخام ٠

المختزلات والسبائك الاضافية :

يقوم الفيرومنجنيز بنزع الأكسجين من صلب بسمر الفوار والمخمد كما يقوم أيضا كل من الفيروسليكون والألومونيوم بنفس الدور وفى بعض الحالات الخاصة يستعمل السليكومنجنيز وغيره من السبائك الأخرى ٠

وتستعمل السبائك الحديدية لنزع الأكسجين من الصلب المنخفض الكربون أما فى حالة الصلب الكربونى فتصهر أولا فى فرن الدست أو الفرن الكهربائى أو غيرها ثم تستعمل بعد ذلك ٠

الحديد الزهر المرآوى :

ويضاف الى صلب بسمر الكربونى منصهرا ليقوم بنزع الاكسجين منه ويتوقف تركيبه الكيميائى تبعا لرتبه المختلفة فيتراوح ما به من منجنيز بين ١٠ ـ ٢٥٪ ، الكربون (٤ ـ ٥٪) ولا يزيد السليكون على ٢٪ ، ولا يتعدى ما يحتويه من فوسفور ٢٢ر٪ أما الكبريت فيجب أن لا يحتوى على أكثر من ٠٣ر٪ ٠

الفيرومنجنيز :

ويستعمل لنزع الاكسجين من صلب بسمر اما صلبا أو منصهرا ومن الطبيعى أن هذا الفيرومنجنيز الذى يتم صنعه فى الافران العالية ـ الأفران اللافحة يجب أن يخضع لمواصفات معينـة فيحتوى عـلى ٦ر٧٪ كربونا ، ٧٠ ـ ٨٠٪ منجنيزا ، حـوالى ٢٪ سليكـونا ، ٣رـ٤ر٪ من الفوسفور كحد أقصى (وذلك للرتب . للدرجات المختلفة منه) ولا نزيد نسبة الكبريت به عن ٠٣ر٪

وفى الحالات الخاصة التى يكون المطلوب فيها انتاج صلب يحتوى على نسبة منخفضة من الكربون ونسبة عالية من المنجنيز يستخدم فيرومنجنيز لا تقل نسبة المنجنيز به عن ٨٠٪ ٠

الفيروسليكون :

يستخدم الفيروسليكون لنزع الاكسجين من الصلب المخمد ويمكن تقسيم الفيروسليكون الى ثلاث درجات تبعا لما يحتويه من سليكون :

(١) ٨٧ ـ ٩٤ ٪ ٠

(٢) ٧٢ ـ ٧٨ ٪ ٠

(٣) ٤٣ ـ ٥٠ ٪ والقسم الأخير هو الأكثر انتشارا فى صناعة الصلب ٠

وعند نزع الاكسجين من الصلب الكربونى بواسطة العوامل النازعة له وهى فى حالة الانصهار يضاف فى بعض الأحيان سبيكة الفيروسليكون الى شحنة أفران الدست أو الأفران الصهارة ٠٠ وهذه السبيكة تحتوى عادة على أكثر من ١٣٪ سليكونا ٠

السليكومنجنيز :

يقتصر استعمال هذه السبيكة على نزع الاكسجين من صلب بسمر المخمد وتكون جاهزة للاستعمال بعد صهرها فى الأفران الكهربائيـة ٠ ويختلف تحليلها الكمى من درجة لأخرى ٠٠ فهى تحتوى على ١٤ ـ ٢٠٪ سليكونا وأكثر ، و ٦٠ ـ ٦٥٪ منجنيزا على الأقل ويجب ألا تزيد نسبة الـكربون عن ١ ـ ٥ر٢٪ أما الفوسفـور فيجب الا تتعـدى نسـبته ١ر٠ ـ ٢ر٠٪ ٠

الألومنيوم الاضافى :

يضاف الى صلب بسمر المخمد لنزع ما به من أكسجين على شكل كرات صغيرة تحتوى على حوالى ٨٧ ــ ٩٦٪ من فلز الألومونيوم وتمثل النسبة الباقية الشوائب الموجودة بالسبيكة مثل السليكون ، والنحاس ، والزنك ٠

السليكوكالسيوم :

يندر استخدامه لنزع الأكسجين من صلب بسمر وتصل نسبة الكالسيوم فى هذه السبيكة الى ٢٣ ــ٣١٪ وربما أكثر تبعا للدرجات المختلفة للسبيكة ولكن نسبة السليكون والكالسيوم معا يجب أن تكون على الأقل ٨٥ ــ ٩٠٪ ومن الشوائب التى توجد مندمجـــة مع هـــذه السبيكة عنصر الألومونيوم الذى قد تصل نسبته الى ٥ر١ ــ ٣٪ ٠

فيروتيتانيوم :

تعتبر سبيكة الفيروتيتانيوم أفضل العوامل النازعة للأكسجين وأحيانا تضاف الى الصلب لتحسين خواصه الميكانيكية ٠

وتبعا لدرجة هذه السبيكة يتغير تركيبها الكيمائى فهى تحتوى على أكثر من ٢٣ ــ ٢٥ ٪ من التيتانيوم على شوائب أهمها :

ألومنيوم ٥ ــ ٨ ٪ على الأكثر ، نحاس ٣ ــ ٤ ٪ وسيلكون بكميات متفاوتة ولكن نســـبة السليكون الى التيتانيوم فى الســـبيكة تتراوح بين ١٨ ر ــ ٢٨ر ٠

فيروكـــروم :

من النادر أن يضاف الى صلب سمر سبيكة الفيروكروم ولكنـه يحتوى على عنصر الكروم لغاية ٢٥ر٪ ويستخدم فى صنع ألواح الصلب الرقيقة ٠ وقد يضاف اليه جزء من سبيكة الفيروكروم حتى يصل الكروم به الى ٦ر ــ ٨ر٠٪ ٠

وفى الاتحاد السوفيتى تقسم سبائك الفيروكروم الى عشرة رتب عيارية استنادا الى نسبة ما تحتويه من كربون وتقع هذه النسبة بين ٠٦ر ــ ٨ر٠٪ ويشترط ألا تقل نسبة الكروم بالسبيكة عن ٦٠ ــ ٦٥٪ كما يجب ألا تزيد نسبة السليكون فى لســـبيكة من جميع الرتب عن ٥ر١ ــ ٥ر٣٪ ٠

٣ ـ فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التى تحدث فى المحول بسمر

الفترة الاولى :

فى أول الامر يستأثر عنصر الحديد بكل الأكسجين الموجود بهواء النفخ والداخل بالمحول خلال الفونيات الموجوده بالقاعدة ومخترقا ودنات الهواء ويتأكسد مكونا اكسيد الحديدوز كما فى المعادلة الآتية :

ح + ½ ا٢ ← ح ا + حرارة

وبمجرد تكوين اكسيد الحديدوز يصبح المصدر الرئيسى لتمويل الاكسجين بشدة فيتأكسد السليكون وبدرجة أقل يتأكسد عنصر المنجنيز الى ثانى اكسيد السليكون ، وأكسيد المنجنيز على الترتيب ٠

ولكن جزءا صغيرا من السليكون وبدرجة أقل يتأكسد عنصر المنجنيز يتمكن من التأكسد مباشرة بواسطة الاكسجين الموجود بهواء النفخ ـ تبعا للتفاعلات الآتية : ـ

س + ٢ح ا ← س ا٢ + ح   س + ا٢ ← س ا٢

م + ح ا ← م ا + ح   م + ا٢ ← ٢م ا

وفى خلال هذه الفترة يحترق الكربون ببطء شديد مكونا أول اكسيد الكربون ، الذى يحترق جزئيا داخل المحول ٠

وتحتوى الغازات المتصاعدة خلال هذه الفترة (اذا كان النفخ بالهواء فقط) على ٨٥ ـ ٩٠٪ نتروجينا أما أول اكسيد الكربون فيكاد يكون منعدما ولهذا فان شعلة اللهب التى تظهر عند فوهة المحول تكون قصيرة وضعيفة الاضاءة ٠

وتتحد السلبكا مع اكسيد الحديدوز وأكسيد المنجنيز لتكون سليكات الحديد والمنجنيز على الترتيب :

س ا٢ + ح ا ← ح س ا٣

س ا٢ + م ا ← م س ا٣

وبجانب السلبكا المتكونة نتيجة لتأكسد عنصر السليكون الموجود بالحديد الزهر فان بطانة المحول تقدم جزءا متداعيا منها ليشترك فى تكوين الخبث الذى يحتوى خلال هذه الفترة على حوالى ٥٠٪ منه سيليكا ،

١٥ ــ ٢٠٪ أكسيد حديدوز ويتكون هذا الخبث أثناء الفترة الاولى من فترات النفخ فى محول بسمر ٠

وتستغرق هذه الفترة وقتا يتوقف أساسا على درجة حرارة «شحنة» الحديد الزهر الداخلة بالمحول وبارتفاع درجة حرارة الشحنة تقل هذه الفترة وليس هذا مقياسا مطلقا فاذا ما وصلت درجة الحرارة الى درجة التسخين المفرط أصبح الكلام عن سلوك الحديد الزهر فى هذه الفترة دربا من التكهنات ولا يمكننا الجزم بنتائجه ٠

الفترة الثانية :

يتأكسد كل من السليكون والمنجنيز ترتفع درجة حرارة شحنة الحديد داخل المحول وعندئذ يبدأ الكربون فى التأكسد بشدة وصخب ويتأكسد الكربون اساسا فى محول بسمر تبعا للتفاعل الآتى ويصحب هذا التفاعل امتصاص كمية من الحرارة :

ك + ح ا ← ك ا + ح

ويتأكسد جزء ضئيل من الكربون مباشرة كما يلى :

ك + ½ ا٢ ← ك ا

ك + كا ← ك ا٢

وتبعا للتفاعلات السابقة ترتفع نسبة أول أكسيد الكربون فى الغازات المنبعثة من المحول الى ٣٠٪ وعند فوهة المحول يحترق أول اكسيد الكربون بواسطة اكسجين الهواء الجوى محدثا شعلة رهيبة من اللهب ذات ضوء ساطع يمتد طولها قرابة ٥ ــ ٦ أمتار ٠

ويستبد الكربون وحده بالفترة الثانية من فترات النفخ ومستغلا جزءا كبيرا من اكسيد الحديدوز للحصول على الأكسجين اللازم لأكسدته مما يؤدى الى انخفاض كمية اكسيد الحديدوز فى الخبث ٠ وبتداعى بطانة المحول وتآكلها ترتفع كثيرا نسبة السليكا فى الخبث كذلك فان ارتفاع درجة الحرارة يعمل على زيادة كمية السليكا أيضا ٠

والنسب الآتية قرين كل مركب توضح التركيب الكيميائى النمطى للخبث : ــ اثناء الفترة الثانية ٠

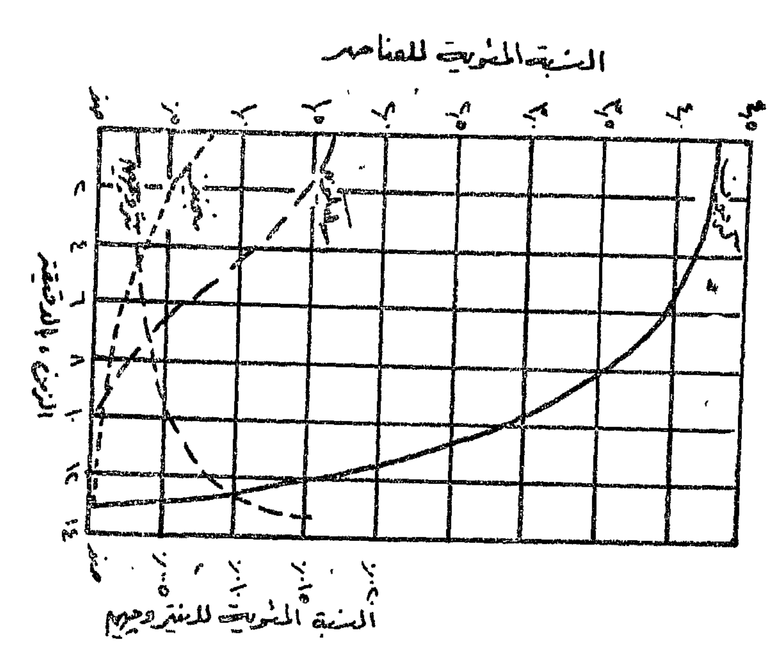
س أ ٢	٦٥ر١	ح٢ أ٣	٦٦ر٤
لو ٢ أ٣	٧٤ر١	ح	٦١ر١٢
كا أ	٨ر١	م أ	٢ ٢ر١٤
ح أ	٠٠ر١٢	فو ا	٨ ٤ر٠

وفى هذه الفترة أيضا يستمر تأكسد كل من السليكون والمنجنيز ولكن بمعدل منخفض للغاية عن الفترة الاولى ·

الفترة الثالثة :

وهى آخر فترات النفخ فى محولات بسمر وتظهر هذه الفترة فى حالة انخفاض نسبة الكربون وتبدأ هذه الفترة بانخفاض مفاجىء فى معدل تأكسد الكربون الى أول اكسيد الكربون ويظهر جليا فى انكماش طول شعلة اللهب وتنبعث أبخرة بنية كثيفة من فوهة معلنة عن تأكسد الحديد بشدة ولا تمتد هذه الفترة لاكثر من ثوان قليلة ·

وللحصول على صلب متوسط الكربون يمكننا انهاء عملية النفخ أثنـــاء الفترة الثانية عنـدما تصل نسـبة الكربون بالصلب النســبة المطلوبة ·



شكل (١٤) : التغيرات الكيميائية التى تطرا على المعدن المنصهر فى محول بسمر سعته ٢٥ طنا ·

٤ ـ تغيير التركيب الكيميائى لكل من الصلب والخبث اثناء عملية النفخ

يوضح شكل (١٥) التغيير فى التركيب الكيميائى للحديد والخبث وكذلك التغيير فى درجات الحرارة طوال فترة النفخ ٠

وكمثال عملى اليك البيانات الاحصائية لسير عملية النفخ لشحنة من الحديد الزهر :

وزن الشحنة ١٩٫٥ طن

التحليل الكمى للشحنة ٪	فو	كب	س	م	ك
	٠٦ر	٠٣٦	١٫٥٨	٨٢ر	٤٫١

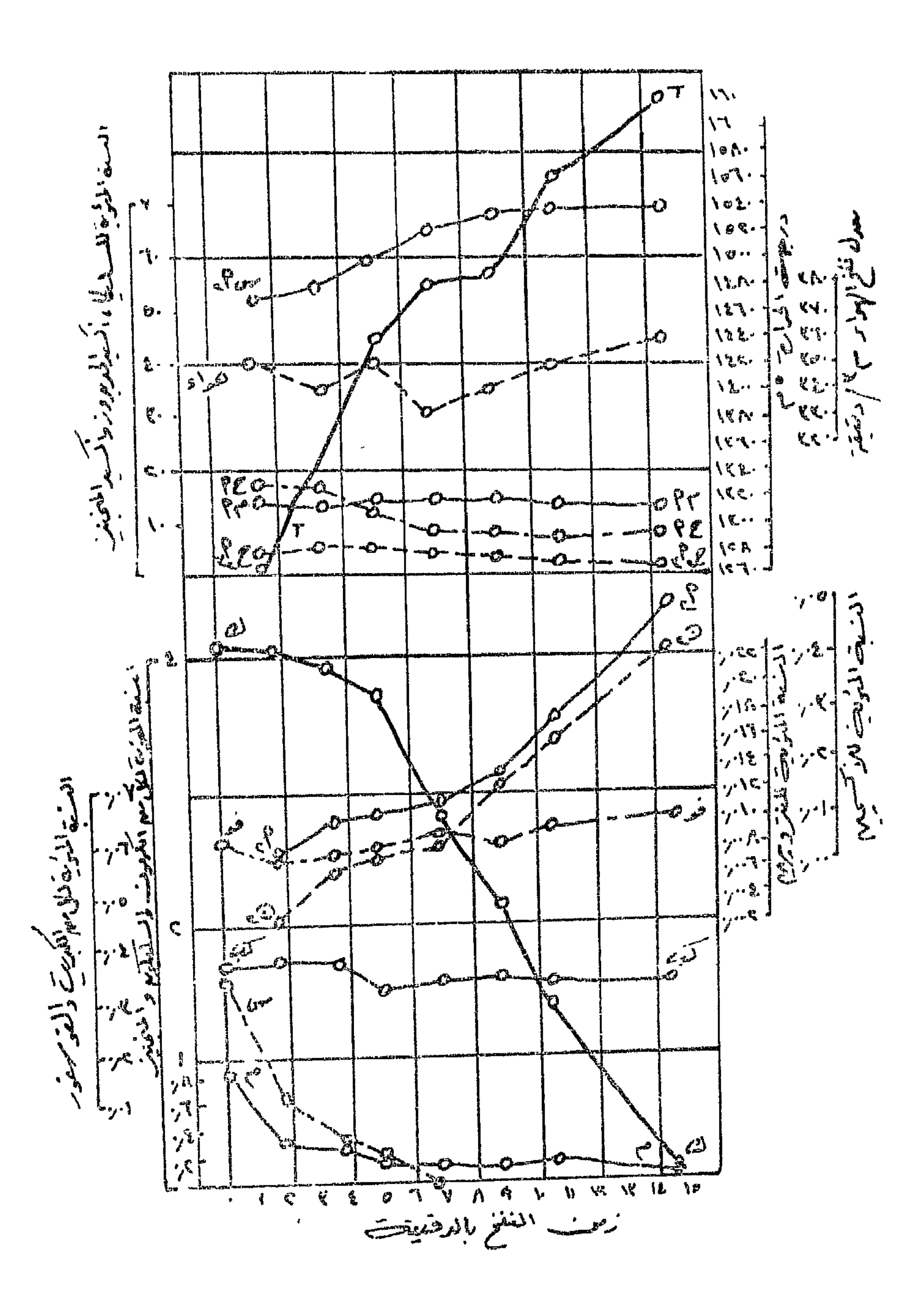
درجة حرارة الحديد الزهر ١٢٥٠ درجة مئوية

الارتفاع فى درجة الحرارة نتيجة عمليات الاكسدة ٣٦٠ درجة م ٠

(عادة يكون الارتفاع فى درجة الحرارة بين ٣٥٠ ــ ٥٠٠ درجة م تبعا للتركيب الكيميائى للحديد الزهر وكمية الاضافات السـباكية والمبردة وظروف تشغيل النفخ وتصميم قاعدة المحول) ٠

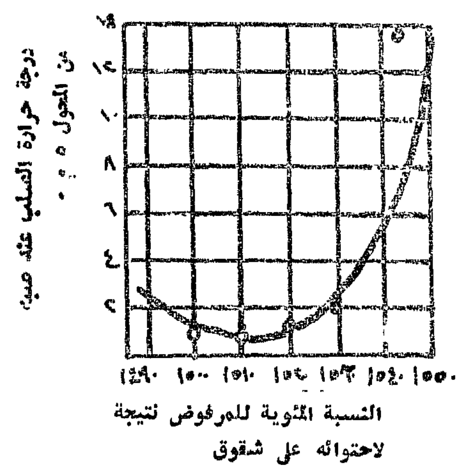
وبثبوت العوامل الاخرى فان عددا قليلا من الفتحات ذات الاقطار الكبيرة (القاعدة من الطوب) تهيىء ارتفاعا كبيرا فى درجة الحرارة عن العدد الكبير من الفتحات التى توجد فى القواعد التى تصنع دكا ٠ ويعزى الارتفاع الطفيف فى درجة حرارة المعدن خلال الفترة الثانية الى التفاعلات الماصة للحرارة التى تصاحب تأكسد الكربون بواسطة أكاسيد الحديد ٠

ومما هو جدير بالذكر أن مقدار السليكون المتخلف من عمليات الأكسدة أى المتبقى بالصلب يتخذ مقياسا صحيحا لدرجة حرارة الصلب فاذا كانت درجة الحرارة عالية وصلت نسبة السليكون بالصلب الى حوالى ١٥ر٪ بينما تصل هذه النسبة الى حوالى ٠٣ر ــ ٠٥ر٪ عند درجات



شكل (١٥) : التغيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى لكل من الصلب والخبث أثناء نفخ شحنة الحديد الزهر .

الحرارة المعتادة · ويوضح شكل (١٦) بيانيا العلاقة بين كتلة من الصلب الفوار ودرجة الحرارة التى عندها يصب الصلب من المحول · ونزداد المقذوفات الحديديه عند درجة حرارة ١٥٤٠ درجة م ــ ١٥٥٠ درجة م (مقيسة بواسطة بيرومتر ضوئى بدون أى تصحيح) ويمكن تفسير ذلك بارتفاع نسبة السليكون المتخلف فى الصلب اذ تبلغ نسبته ٠٦ر ــ ١ر٠٪ نظرا لارتفاع درجة حرارة الصلب اثناء سير العملية ·



شكل (١٦) رسم بيانى يوضح العلاقة بين نسبة المرفوض من الصلب نتيجة لاحتوائه على شقوق ودرجة حرارة الصلب عند صبه من المحول ·

وطوال عملية النفخ تزداد نسبة ما يحتويه الصلب من نتروجين رفى اثناء المرحلة الاولى من مراحل النفخ حيث تكون نسبة الكربون عالية يكون معدل تأكسده منخفضا وتكون درجة الحرارة هى الأخرى مازالت منخفضة فان ذوبان النتيروجين فى الصلب يكون فى حدود ٠٠٢ر ــ ٠٠٨ر٪ ·

وبارتفاع درجة الحرارة تنخفض نسبة الكربون فى الصلب بىنما تأخذ نسبة النتروجين فى الارتفاع حتى تصل الى ٠٢٣ر٪ فى نهـــاية العملية ·

وتتوقف كمية النتروجين الذائب بصلب بسمر على عدة عوامـل أهمهـا :

(أ) كمية الكربون فى الصلب ومعدل تأكسده ·

(ب) درجة حرارة الشحنة ·

(ج) ارتفاع المعدن فوق ودنات النفخ ·

(د) ظروف تشغيل النفخ (ضغط الهواء المنفوخ وطبيعة النفخ) ·

ويساعد كثيرا انخاض نسبة الكربون بالصلب على ذوبان نسبة أكبر من النتروجين فيه فى حين أن ارتفاع معدل تأكسد الكربون وبالتالى تصاعد فقاعات أول أكسيد الكربون المتكون بشدة يعمل على طرد كمية أكبر من النتروجين المذاب ·

ومن الطبيعى أن ارتفاع درجة الحرارة من شأنه أن يزيد من سيولة المعدن الامر الذى ينجم عنه تجزىء المعدن الى قطرات صغيرة فتزداد المساحة المتعرضة لهواء النفخ وتكون الفرص متاحة لامتصاص كمية اكبر من النتروجين ·

ولقد أثبتت التجارب العملية أنه بارتفاع طبقة المعدن داخل المحول يزداد ما يحتويه الصلب من نتروجين بفرض ثبوت العوامل الأخرى ، ويرجع هذا الى طول عمود الهواء المخترق لطبقة المعدن مما يجعل فرصة التلامس أكبر ·

وبزيادة ضغط الهواء تتسع منطقة تلامس المعدن بالهواء مما يؤدى الى امتصاص كمية أكبر من النتروجين رغما عن قصر مدة النفخ · وبتزويد الهواء المنفوخ بالاكسجين النقى ينخفض الضغط الجزئى للنتروجين فيقل معدل امتصاصه فى الصلب كما أن زيادة الضغط الجزئى للاكسجين يزيد من معدل أكسدة الكربون محدثا فورانا يساعد على طرد النتروجين من الصلب · وبانتهاء أكسدة الكربون يأخذ تركيز الاكسجين بالصلب فى الزيادة وبتثبت العوامل الاخرى فان درجة تأكسد المعدن تتحدد سلفا بنسبة ما يحتويه من كربون مع اعتبار عوامل التشغيل فى الدرجة الثانية ، هذا وتتحكم فتحات الهواء بحجمها الفعلى لكل طن من الشحنة فى مقدار ما يفقده المعدن نتيجة لأكسدته كما تتحكم أيضا فى درجة الأكسدة فتزداد كلما كبر حجم هذه الفتحات ·

وعندما يحتوى الصلب على حوالى ٠٫٠٥٪ كربونا تتراوح نسبة الاكسجين به بين ٠٫٠٤٧ – ٠٫١٠١٪ وكقاعدة فانه يكون فى المتوسط حوالى ٠٫٠٦٧٪ واذا كانت نسبة الكربون من ٠٫١ – ٠٫١٣٪ كانت نسبة الاكسجين الذائب ٠٫٠٣٥ – ٠٫٠٨٢٪ وعادة تكون ٠٫٠٤٩٪ ·

وتبلغ نسبة الاكسجين بصلب « القضبان » ٠٫٠٠٩ – ٠٫٠٢١٪ اذا احتوى على ٠٫٥ – ٠٫٦٥٪ كربونا وعادة تكون نسبة الاكسجين به ٠٫٠١٦٪ (هذا اذا توقف النفخ عند نسبة عالية من الكربون) ·

وترتبط كمية الاكسجين الذائبة بالصلب بمقدار وطبيعة الشوائب غير المعدنية الموجودة به وفى صلب بسمر الفوار تصل نسبة هذه الشوائب غير المعدنية والموجودة كأكاسيد الى حوالى ٠١٦٦ر - ٠٤١٦٪ من وزن المعدن بينما لا تتعدى هذه النسبة ٠١ر - ٠٢٥ر٪ فى الصلب المصنوع بواسطة الأفران المفتوحة (سيمنز مارتن) حيث تنخفض كمية المعدن المتأكسد (والتغيير فى المكونات الأساسية للخبث أثناء عملية النفخ (ممثلة بيانيا فى شكل ١٥) ، حيث يحتوى الخبث على ٣ر١ - ٨٢ر١٪ من أكسيد الألومونيوم ، ٢٦ر١ - ٩٢ر٢ ٪ أكسيد الكالسيوم ، ٣ر - ٠٥ر١ ٪ أكسيد ماغنسيوم .

أجريت عدة تجارب على شحنة من حديد زهر ذى تركيب كيميائى مجدد وفى ظروف معينه باضافات محسوبة لتنتج فى النهاية كتلا من الصلب ذات جودة عالية وقد وجد أن القصور الحرارى للحديد الزهر يتسبب فى تخفيض درجة حرارة الصلب الناتج ، ومثل هذا القصور يكون نتيجة اما لانخفاض كمية السليكون والمنجنيز بالحديد الزهر واما لانخفاض درجة حرارة شحنة الحديد الزهر الداخلة فى المحول وبرودته من الداخل أو الكلا هذين السببين .. وباضافة كمية السليكون أثناء الفترة الثانية من فترات النفخ فى صورة سبيكة الفيروسليكون التى تحتوى على حوالى ٤٥ ٪ من السليكون الى الشحنة يمكننا ليس فقط تعويض مثل هذا القصور الحرارى بل ورفع درجة حرارة الصلب الناتج .

وتتولد هذه الحرارة من أكسدة كمية السليكون المضافة الى الشحنة واذا كان هذا القصور الحرارى نتيجة للبرودة النسبية لدرجة حرارة شحنة الحديد الزهر الذى يحتوى على كمية كافية من السليكون أو نتيجة لانخفاض درجة حرارة المحول الداخلية فان نفخ المحول وهو فى وضع مائل لمدة دقيقتين أو ثلاث يكون كافيا لرفع درجة حرارة الشحنة بطيئا مما يزيد من تأكسد الحديد .

وبامالة المحول يصبح عدد فتحات الهواء المستخدمة فعلا أقل من عددها الحقيقى ولا يغطى الحديد الزهر جميع الفتحات الموجودة الامر الذى يؤدى الى تأكسد السليكون ببطء فيزداد الفاقد من الحديد وبالتأكسد ويكون نتيجة لها ارتفاع درجة حرارة الشحنة .

وبعد ذلك يثبت المحول فى وضع رأسى مع استمرار النفخ فيرتفع معدل تأكسد السليكون وفى النهاية يكون الارتفاع فى درجة الحرارة

كنتيجة حتمية لهذا الاجراء أمرا مؤكدا · والارتفاع الحرارى يكون نتيجة لنفخ الحديد الزهر الغنى بالسليكون وهو عند درجة عالية من الحرارة ·

وفى بعض الاحيان تتم صناعة الصلب بمثل هذه الحالة من الفيض الحرارى حيث يستغل فى صهر وتصنيع كمية مناسبة من الخردة · وعمليا تطبق مثل هذه الطريقة فى المصانع التى تفتقر الى الافران المفتوحة حيث يستفاد بتصنيع الاكوام المكدسة من الخردة ·

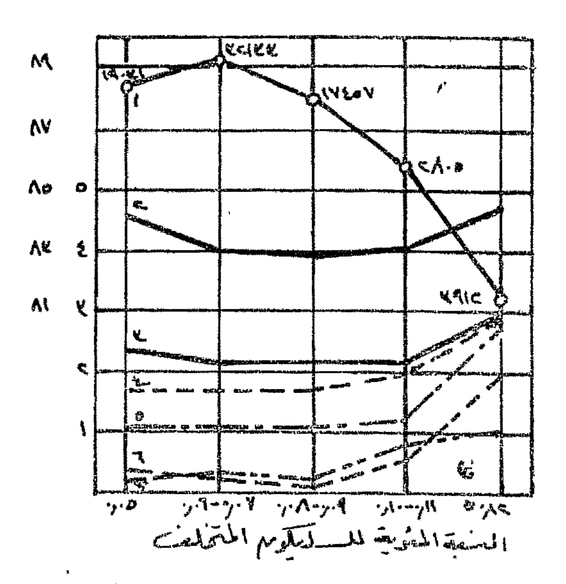
واذا تم النفخ عند زيادة من الحرارة كان الصلب الناتج أقل جودة واحتوى على كمية أكبر من السليكون المتخلف وارتفع معدل تأكسده ودرجة تشبعه بالغازات (اذ أن ارتفاع كل من الحرارة والسليكون بالحديد الزهر يزيد من فرصة ذوبان الغازات فى الصلب المنصهر) ·

وعند صب الصلب الفوار وهو فى درجة الحرارة العالية فان الكتل الناتجة يحدث لها فوران ويزداد حجمها ويتكون ما يشبه خلايا النحل التى تنظم قرب سطح المعدن · ولقد أوضحت التجارب أنه اذا احتوى الصلب على ٠٩ر - ١ر٪ من السليكون المتخلف فى صلب القضبان (عندما يتوقف النفخ عند نسبة الكربون المطلوبة) تنخفض جودة الصلب وقد يرفض لكثرة مابه من عيوب واضحة وتصدعات خطيرة وزيادة فى القصافة ·

ويمكن تدارك هذا الارتفاع فى درجة الحرارة باضافة كمية من الخردة فى المحول وهو فى وضع رأسى قبل أو أثناء عملية النفخ ، وتعتمد كمية الخردة المضافة على طريقة التشغيل ·

وقد أوضحت التجارب أنه باضافة ١٠٪ من قصاصات الدرفلة (نفايات الدرفلة) تنخفض درجة الحرارة حوالى ١٠٠ - ١٢٠ درجة م ·

ومن الأهمية بمكان أن نذكر الدور الكبير الذى يقوم به خام الحديد فى تنظيم درجة الحرارة فنظرا لقدرته الكبيرة على التبريد فهو يفوق الخردة فى هذا الصدد ولا تعجب أن كيلو جراما واحدا منه يحل محل ٤ - ٥ر٤ كيلو جراما من الخردة · ويجب اضافة خام الحديد فى المحول قبل شحنه بالحديد الزهر حتى يختزل الحديد بواسطة السليكون والمنجنيز أثناء الفترة الأولى وليس بالكربون ·



شكل (١٧) : يبين جودة صلب القضبان المصنوع فى محول بسمر مقدرة بنسبة السليكون المتخلف الذى يحتويه الصلب

١ ـ درجة أولى | **٢ ـ التشققات الدقيقة**
٣ ـ مواضع الأكسيد | **٤ ـ الرمل المحجوز**
٥ ـ العيوب التى لصلب البيان الميكروسكوبى
٦ ـ القصافة | **٧ ـ التشقوق (الصدوع)**

واذا أضيف خام الحديد أثناء المرحلة الثانية فان ذلك يؤدى الى اختزال الحديد بواسطة الكربون مكونا أول اكسيد الكربون مما يساعد المقذوفات المعدنية على الهروب خارج المحول حاملة معها بعض الخـــام المضـــاف •

ومن مزايا اضافة خام الحديد والنفايات المعدنية الى شحنة الحديد الزهر تقديم كمية لا بأس منها من الأكسجين اللازم للتفاعلات الكيميائية المختلفة فتتم بسهولة وفى وقت أقصر كما أن اختزال خام الحديد يزيد من ناتج الصلب المنصهر •

ومن الطرق المستخدمة لامتصاص الزائدة اضافة نسبة من بخار الماء الى الهواء الداخل الى المحول فتستهلك كمية كبيرة من الحرارة فى تحليل الماء الى عنصريه وتعتبر هذه الطريقة ذات فاعلية الى حـد بعيد الا أنها غير اقتصادية ولهذا فهى بعيدة عن المنطق اذ أن الحرارة الزائدة

فى هذه الحالة تضيع هباء فى حين أنه يمكن استغلالها فى اختزال كمية من خام الحديد أو لصهر كمية من الخردة •

هذا بالاضافة الى امتصاص جزء كبير من الهيدروجين (المنشق عن الماء) المتولد نتيجة لتحلل الماء مما يحط من جودة الصلب • وقد يؤدى الى حدوث تشققات ذات تأثير خطير فى القضبان المصنوعة من هـذا الصلب •

٥ - الطريقة الحديثة لصناعة الصلب

تتحسن كثيرا خواص الصلب المختلفة اذا نجحنا فى خفض نسبة النتروجين والفوسفور به ويمكننا العمل على الاقلال من النتروجين الذائب بالصلب (متوسط الكربون) بطرق مختلفة منها : ايقاف نفخ الهواء عندما نصل الى نسبة الكربون المطلوبة ، واستعمال النفخ الجانبى ، وخفض الضغط الجزئى للنتروجين فى الهواء المنفوخ بتزويده بالأكسجين النقى •

ايقاف نفخ الهواء عند الوصول الى نسبة الكربون المطلوبة :

يصنع الصلب الكربونى فى محولات بسمر اما بنفخ الحديد الزهر بالهواء حتى تخبو شعلة اللهب نهائيا (وفى هذه الحالة تصل نسبة الكربون بالصلب الى حوالى ٠٥ر٠٪) ثم يتبع ذلك عملية الكربنة أو بوقف تدفق الهواء الى المحول عندما تكون نسبة الكربون بالصلب هى النسبة المنشودة ، والطريقة الأخيرة تتميز بعدم تعرض كثير من الحديد المتأكسد كما أن الصلب الناتج يكون محتويا على كمية من النتروجين أقل من الصلب الذى تعرض لعملية الكربنة •• وقد عرفت هذه الطريقة منذ زمن طويل ولكنها لم تنتشر ولم تحظ بالانتشار الواسع الا بعد أن تم اعداد الأجهزة اللازمة والتى جعلت فى الاستطاعة معرفة نسبة الكربون فى الصلب فى فترة وجيزة لا تتجاوز دقيقة ونصف وذلك بواسطة اخذ عينات من المحول اثناء عملية النفخ •

ثم تؤخذ عينة من الصلب لتحديد نسبة الكربون فاذا كانت أكبر من النسبة المطلوبة كان استمرار النفخ أمرا مستلزما •

ويمكن التحكم فى النفخ بواسطة الزمن وظهور اللهب الخارج من المحول حتى تصل نسبة الكربون الى ٦ر٠ - ١ ٪ بعد ذلك تؤخذ عينة من

المعدن لتحديد نسبة الكربون واذا زادت نسبة الكربون عن القيمة الفعلية تضاف بعض المصهرات الشديدة •

ويمكن تحديد معدل أكسدة الكربون تحت ظروف النفخ المحددة معمليا ويمكن تسجيله فى جدول •

ويعطى جدول (٢) المعدلات المطلوبة للنفخ الزائد لصبة تزن ١٨ر٥ طن عند نسبة ٥ر٠٪ كربون وتغذية هواء بمعدل ٣٥٠ متر مكعب لكل دقيقة •

(جدول (٢))

محتوى الكربون فى العينة ٪	مدة النفخ الزائد بالدقيقة/والثانية
١ر٢	١ — ٤٠
١ر١	١ — ٣٦
١ر٠	١ — ١١
٠ر٩	٠ — ١٧
٠ر٨	٠ — ٤٣
٠ر٧	٠ — ٢٩
٠ر٦	٠ — ١٤

وتتراوح نسبة النيتروجين فى صلب القضبان الكربونى من ٠١٦ر٠ الى ٠٢٢ر٠٪ وعندما تتوقف العملية عند نسبة كربون ٥ر٠ — ٦ر٠٪ فان كمية النتروجين تتراوح بين ٠١٢ر٠ — ١٨ ٠ر٠٪ ويزداد عائد الصلب جيد الانصهار الى ٥ر١ — ٠ر٢٪ نتيجة انخفاض فاقد صهر الحديد ويمكن أن تتحسن الخواص الميكانيكية للقضبان •

النفخ الجانبى :

ترجع الجودة المنخفضة لصلب بسمر المنفوخ من القاع الى زيادة كمية النتروجين والمكونات غير الحديدية المتواجدة فيه ، وفى حالة النفخ الجانبى أو عندما تكون الودنات مغمورة قليلا فى المعدن تزداد مساحة التلامس المباشر بين الهواء والمعدن بمعدل بطىء مما يساعد على اختزال نسبة النيتروجين فى الصلب الى ٠٠٣ر٠ — ٠٠٨ر٠٪ بدلا من

۰۱۵ر۰ ـ ۰۲۲ر۰٪ فى طريقة النفخ من أسفل ويمكن تحسين الخواص الميكانيكية للصلب لتصبح مشابهة لمثيلتها فى الافران المفتوحة ٠

وتنتج الافران الجانبية معدنا ذو درجة حرارة عالية من عمليـــة النفخ من أسفل ويمكن أن يعزى ذلك الى الاحتراف السفلى لأول اكسيد الكربون « ك أ » الى « ك أ ٢ » على السطح عند تصاعده وينتج التسخين الشديد للمعدن زيادة اضافات الخردة والخام عن طريق زيادة العائـد من الصلب المنصهر وتساعد الحرارة الفائضة كذلك على نفخ الحـديد الزهر المحتوى على نسبة صغيرة من السليكون ٠

ومن الممكن أيضا صهر سبيكة الصلب لأن الاضافات السبائكيـة تذاب بسهولة بدون تبرير المعدن الى الحد الذى يصهر بالصب العادى وتتبع الاحتياطات التالية فى عملية النفخ الجانبى لمحول بسمر ٢٠ طنا المستخدم فى صهر الصلب المطاوع وصلب القضبان :

١ ـ أن تتراوح نسبة النتيروجين فى معدن القضبان بين ۰۰٦ر۰ ـ ۰۰۹ر۰٪ وفى الصلب الفوار من ۰۰۵ر۰ ـ ۰۰۸ر۰٪ (مع النفخ من أسفل تكون النسبة حوالى ۰۱۸ر ـ ۰۲٦ر۰٪ ٠

٢ ـ أن تتراوح نسبة الاكسجين فى الصلب المنفوخ من أســـفل بين ۰۲۷۳ر ـ ۰٤۲۰ر۰٪ وفى الصلب المنفوخ من اسفل بين ۰۲۷۳ر ـ ۰٤۲۰ر۰٪ وفى الصـــــلب المنفوخ بالطريقة الجانبية من ۰۰۱۸ر۰ ـ ۰۳۰٦ر۰ ٪ ٠

٣ ـ عندما يحتوى الحديد الزهر على ٢٧ر١ ـ ٥٦ر١٪ سيلكون ، ٧٩ر۰ ـ ٨۰ر۰٪ منجينز ويتم نفخه بالطريقة الجانبية لانتاج صـــلب طرى فان تركيب الخبث قبل عملية الاكسدة يكون كالآتى ٪ : ـ

س أ٢	٧۰ر٥٥	مغ أ	٢٥ر۰
لو٢ أ٣	٩٥ر١	م أ	٩٩ر١٤
كا أ	٤٩ر۰	ح أ	١٧ر٢٧

وفى طريقة النفخ من أسفل :

فان محتوى « ح أ » فى الخبث يتراوح بين ١٥ ـ ١٧٪ وفى طريقة النفخ الجانبى فان الخبث يكون أكثر سيولة ٠

٤ ـ فى طريقة النفخ الجانبى تتراوح النسبة الكلية للعناصر غـير الحديدية فى صلب القضبان بين ۰۳١٢ر۰ ـ ۰٣٩ر١۰٪ (متوســـط

١١٨٥ر٠٪) ومن ثم يجب أن يؤخذ فى الاعتبار ان سيولة الصلب تكون عالية مع النفخ الجانبى عنها فى طريقة النفخ السفلى ٠

٥ ــ أن تبلغ متوسط قوة التصادم لمعدن القضبان فى مقطع العينة عند درجة حرارة الغرفة ٢٨ر١ كجم/سم مربع فى حالة النفخ الجانبى ، ٩٩ر٠ كجم / سم٢ فى حالة النفخ السفلى ٠٠ أما عند درجة حرارة ٦٠ ــ صفر درجة م فتكون تقريبا ٧٢ر٠ ــ ٠٣ر١ كجم / سم٢ ، ٥٢ر٠ ــ ٦٢ر٠ كم / سم٢ على التوالى كما تزيد كذلك مقاومة التصادم فى طريقة النفخ الجانبى للصلب الفوار سواء قبل الازمان أو بعده ٠

٦ ــ تزداد فترة النفخ من ١٣ ــ ١٥ الى ١٧ ــ ٢٧ دقيقة ٠

٧ ــ عمر بطانة المحولات والودنات قصير ٠

وفى الولايات المتحدة الأمريكية يستخدم محولان بسعة من ٦ ــ ٧ طن لانتاج كمية من الحرارة على سطح المصهور عندما يكون وضع الودنات فى مستوى حمام (مغطس) المعدن أو أعلى قليلا وفى هذه الحالة يدخل هواء النفخ تحت منسوب المعدن أى تكون الودنات مغمورة وأيضا عندما تكون الطريقتان مركبتين مع بعضهما وتبلغ نسبة النتروجين فى الطبقة السطحية للنفخ ٠٠٣ر٠٪ وداخل طبقة المعدن ٠٠٧ر٠٪ ، وفى الطريقة المركبة ٠٠٦ر٠٪ ٠

ويوضح جدول (٣) تركيب الخبث :

جدول (٣)

المصهور	محتوى المكونات٪			
	ح أ	ح٢ أ٣	س أ٢	أو٢ أ٣
السطح	٣٨ر١٨	٣ر٤٣	٤٩ر١٠	٣ر١٨
اسفل طبقة المعدن	٢٨ر٧٣	١ر٥٠	٥٨ر٥٠	٢ر٣٤
القاع	١٦ر٢٢	٢ر٩١	٦٧ر٦١	٢ر١٢

ومن التركيب الكيمائى للخبث يتضح مباشرة أن الخبث الناتج من طريقة النفخ السطحى هو الذى يتمتع بأكبر درجة من السيولة ولهــذا فقد أصبح من العسير فصله عن الصلب ٠

وقد يطول عمر بطانة المحول إذا كانت مصنوعة من الميكا فلا تتغير

الا بعد أن تؤدى ٦٦ صبة ويستمر النفخ من ١٠ ـ ٢/دقيقة حتى يتم صنع ضبة وزنها ٢٢ طنا ٠

وتنحصر مميزات طريقة النفخ الجانبى فيما يلى : ـ

١ ـ ارتفاع درجة الحرارة داخل المحول أثناء التشغيل مما يتيح لنا نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من السليكون كما يمكننا من اضافة كمية اكبر من الخردة وخام الحديد فتزداد تبعا لذلك الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج ٠

٢ ـ تنخفض كثيرا نسبة النتروجين فى الصلب الناتج وقد تصل فى كثير من الأحيان الى النسبة التى يحتويها صلب الافران المفتوحة ٠

٣ ـ تقل كمية الشوائب غير المعدنية المحتواة فى الصلب الناتج ٠

٤ ـ يضارع الصلب الناتج فى خواصه الميكانيكية صلب الأفران المفتوحة ٠

ولولا ارتفاع درجة أكسدة الخبث وتداعى البطانة بعد أمد قصير لفاقت هذه الطريقة غيرها من الطرق بدون استثناء وارتقت عرش المثالية وأصبحت نموذجا تتضاءل بجانبه جميع الطرق المعروضة ٠

تزويد هواء النفخ بالأكسجين النقى :

ينفخ الحديد الزهر بخليط من الهواء والأكسجين لنتمكن من رفع السعة الانتاجية للمحول ، وخفض نسبة النتروجين بالصلب ولامكانية الاستفادة بكمية أكبر من الخردة عن الطريقة العادية باستعمال الهواء فقط فى النفخ ٠

ولم تأخذ طريقة النفخ السفلى بالأكسجين النقى طريقها فى الانتشار على الصعيد العالمى نظرا لقصر عمر أداء الحراريات المستعملة فى المحول ، وقد انضحت هذه الظاهرة بما لا يدع مجالا للشك أثناء الاختبارات التجريبية التى أجريت فى الاتحاد السوفييتى وفى غيره من البلدان الصناعية الاخرى ٠

وبالقاء نظرة فاحصة على الحالة الحرارية لشحنة الحديد الزهر نجد أنه باستعمال الهواء فقط فى النفخ فان جزءا كبيرا من الحرارة يفقد بواسطة النتروجين الذى يتصاعد من المحول وفى درجة حرارة الشحنة تقريبا ٠ وكما هو معروف لنا يمثل النتروجين ٥/٣ حجم الهواء الداخل ولهذا يصل الفاقد من الحرارة أكثر من ٢٥٪ من كمية الحرارة الكلية

وعليه كان لزاما علينا أن يكون الحديد الزهر غنيا بالسليكون حتى نتمكن من تعويض الحرارة المفقودة ٠

ولقد وجد أنه اذا كانت نسبة الاكسجين بهواء النفخ ٣٠٪ أمكن صهر ٩ر كجم من الخردة لكل متر مكعب من النتروجين المرفوع من هواء النفخ ، فبالنفخ المعتاد تصل كمية الخردة المضافة الى ٨ر٪ طنا لكل من الحديد الزهر المنفوخ ٠

فاذا احتوى هواء النفخ على ٣٠ ـ ٣٥٪ منه أكسجينا زيدت هذه الكمية الى ٥ر٣٪ طنا كما أنه فى هذه الحالة نتمكن من نفخ الحديد الزهر الذى لا يزيد نسبة ما به من السليكون عن ٥ر٠ ٪ ٠

ويتناسب الانخفاض الزمنى فى فترة النفخ مع نسبة الاكسجين الموجودة بالهواء المنفوخ ، وجدول (٤) يعطينا فكرة عن هذا التناسب باجراء تجارب لنسب مختلفة من الأكسجين على شحنة من الحديد الزهر وزنها ٥ر٢٢ طنا ٠

جدول (٤)

نسبة الاكسجين فى هواء النفخ (٪)	مدة النفخ ـ (دقيقة)
٢١ هواء عادى	١٣ر٢٣
٢٥	١١ر١١
٣٠	٩ر٣٦
٣٥	٧ر٩٣
٤٠	٦ر٩٤
٤٥	٦ر١٩
٥٠	٥ر٥٦

ولقد تحققت النتائج الآتية بالتجارب العملية وأصبحت حقيقة لا يدانيها أى شك :

١ ـ ظلت درجة حرارة الشحنة فى حدود المعتاد باضافة ١٢٪ من الخردة ٠

٢ ـ ارتفعت السعة الانتاجية للمحول فأصبحت ٤ صبات فى الساعة بدلا من ثلاث ٠

٣ ـ زادت الكفاءة الانتاجية للصلب الجيد بمقدار ١٪ ٠

٤ ـ تحسنت خواص الصلب الناتج لانخفاض نسبة النتروجين به ٠

٥ ـ أصبح من المستطاع نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من السلكون ٠

٦ ـ ازالة الفوسفور من الصلب :

يزال الفوسفور من صلب بسمر باضافة خليط من أكسيد الكالسيوم (٥٠ جزءا) ونفايات التشكيل (٣٠ جزءا) والفلوريت (٢٠ جزءا) ٠

ويضاف هذا الخليط بعد طحنه وهو فى الحالة اثناء صب المعدن فى المحول بواقع ٣٠ كجم لكل طن من الصلب الناتج ٠

ويكون من جراء هذا حدوث تفاعلات سديدة فى البودقة التى تحوى الصلب الناتج ونتيجة لهذه التفاعلات تصل نسبة الفوسفور المزال الى ٥٠ ـ ٨٠٪ من الكمية الكلية بالصلب ٠

ويزن الخبث الناتج ٣٪ من وزن المعدن ٠ ومن الضرورى أن تكون سعة البودقة كافية حتى نتلافى فيضان الخبث خارج البودقة نتيجة لعنف التفاعلات التى تحث داخلها ويعطى التحليل الكمى للتركيب الكيميائى للخبث النسب الآتية :

٦ ـ ٤ لو ٢ أ ٣   ٤٥ كا أ
١٠ ـ ٨ م أ   ١٤ ـ ١٠ح أ + ح ٢أ ٣
٦ ـ ٤ فو٢ أ ٥   ٢٥ ـ ١٥ س أ ٢

ويمكننا أيضا معالجة خبث محولات بسمر بخبث الحديد الجيرى وهو فى الحالة السائلة ٠

وبالرغم من النتائج الطيبة التى توصلنا اليها بهذه الطريقة الا انها لم تعمم وتستخدم على الصعيد الدولى نظرا لانها تتطلب وحدة مستقلة لصهر الخبث كما أن الدورة الانتاجية لهذه الطريقة معقدة الى حد بعيد ٠

٧ ـ نزع الأكسجين من الصلب
كربنة الصلب

يتم عمليا نزع الأكسجين والكربنة قبل عملية النفخ مباشرة والغرض من هاتين العمليتين كما هو واضح من تسميتهما سحب ما يمكن سحبه

من الأكسجين الذائب بالصلب ثم رفع نسبة الكربون بالصلب حتى تصل الى النسبة المطلوبة ·

وفى صناعة الصلب الفوار ، يتم عادة نزع الأكسجين ورفع نسبة الكربون باضافة سبيكة الفيرومنجنيز الى المحول أو البودقة ·

ويجب أن يكون الفيرومنجنيز المضاف ذا أحجام مناسـبة ومندى بقليل من الماء حتى يتمكن من اختراق طبقة الخبث الكنيفة دون أن يحتجز بها ·· وقد وجد أن أنسب الأحجام للفيرومنجنيز المضاف هو ٥٠ مم كقطر لمساحة المقطع وتضاف أثناء صب الصلب فى البودقة ·

ويمـكن تعيين وزن الفيرومنجنيز الذى يجب اضـافته من قـانون العلاقة الآتية :

وزن الفيرومنجنيز المضاف = (س·ص×١٠٠) / (أ (١٠٠ـب)) =

حيث : س = وزن الشحنة بالطن **(مثلا ٢٠ طنا)**

ص = نسبة المنجنيز المراد الوصول اليها ٪ (مثلا : نسبة المنجنيز بالصلب = ٠٩ر٠٪

النسبة المطلوبة = ٤ر٪ ، ص = ٤رـ٠٩ر = ٣١ر٪)

أ = نسبة المنجنيز فى السبيكة ٪ (مثلا ٧٥٪)

ب = نسبة ما يفقد من المنجنيز (عادة ٣٠ ـ ٤٠٪) عند اضافته فى المحول ١٥ ـ ٢٠ ٪ عند اضافته فى البودقة ·

وكمثال يكون وزن الفيرومنجنيز الواجب اضافته تبعـا للبيانـات المعطـاه ·

= (٢٠ × ٣١ × ١٠٠) / (٧٥ × (١٠٠ـ٣٥)) = ١٣ر طنا

وهذه الكمية من الفيرومنجنيز ترفع نسبـة الكربـون فى الصلب الناتج بمقدار

(١٠ر × ١٣ر × ٦ر٥ × ١٠٠) / ٢٠ = ٠٤ر٪

حيث أن هذه السبيكة تحتوى على ٥ر٦٪ من وزنها كربونا مع افتراض عدم فقد أى كربون منها .

واذا كانت نسبة الكربون بالصلب بعد النفخ مباشرة ٠٥ر٪ فان النسبة النهائية تصبح مساوية ٠٩ر٪ وللمنجنيز الموجود فى صلب بسمر الفوار تأثير ملحوظ على خواص كتل الصلب أثناء درفلتها .

وبزيادة نسبة المنجنيز فى الصلب نحد من شدة فورانه فى قوالب الصلب وبهذا تصبح الكتل رفيقة للغاية .

أما اذا انخفضت نسبة المنجنيز بالصلب أصبح ضروريا اضافة قطع الالومنيوم ليقوم بنفس الدور الذى يقوم به المنجنيز .

ومن الأهمية بمكان أن تؤخذ كل هذه الاعتبارات فى الحسبان حتى يتم صنع الصلب بنجاح . وتعترضنا كثير من العقبات مع صنع صلب بسمر المخمد ففى نهاية النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى ١ر٠٪ فان كمية كبيرة من الأكسجين تبلغ ٠٦ر ـ ٠٩ر٪ تكون ذائبة فى الصلب وأحيانا لا يكون الصلب الناتج مخمدا تماما بالرغم من اضافة كميات وفيرة من الفبروسليكون والألومنيوم وفى هذه الحالة يمكننا نزع الأكسجين بنجاح بواسطة الكربون حيث تزداد قابليته للأكسجين عند درجات الحرارة العالية . فبايقاف نفخ الهواء فور شحوب شعلة اللهب عند فوهة المحول (٠٥ر٪ كربونا) تضاف كمية من الحديد الزهر الى المحول ويحتوى (الحديد الزهر على ٢٥ر٤٪ كربونا ، ١٥٪ سليكونا وعندئذ يشتد التفاعل حتى اذا انتهت هذه التفاعلات يكون الصلب جاهزا لصبه فى البودقة حيث تضاف اليه الكميات المطلوبة من سبائك الفيرومنجنيز والفبرسليكون والالومونيوم ولهذا يحتوى الصلب المخمد تماما على حوالى ١٥ر٪ كربونا ، ٠١٥ر٪ اكسجينا .

وقد تستخدم سبيكة السليكومنجنيز لنزع الأكسجين من بعض أنواع الصلب الخاصة .

وفى صناعة الصلب الكربونى أو صلب القضبان تستخدم عادة العوامل النازعة للأكسجين والكربنة بعد صهرها فى أفران الدست ، أو الأفران الكهربائية .

وعادة يكون التركيب الكيميائى للعوامل النازعة للأكسجين كما يأتى :

٣ر٥ ــ ٨ر٤٪	كربونا
٣ر٩ ــ ٥ر١٠٪	منجنيزا
٢٤ر ــ ٧١ر٪	سليكونا
١٦ر٪	فوسفورا

واذا استخدمت هذه العوامل بمقدار يتراوح بين ٩٣ ــ ٥ر٨٦٪ كجم/طن من المعدن المنفوخ لانتاج صلب القضبان كانت نسبة ما يحتويه فى النهاية من السليكون ٠٩ر ــ ١٤ر٠٪ وفى هذه الحالة يضاف الفيروسليكون الى البودقة حتى ترتفع هذه النسبة الى ١٨ر ــ ٢٥ر٪ وفى بعض الأحيان يكون الحديد الزهر المرآوى هو المادة المستخدمة لنزع الاكسجين وأيضـا العامل المكربن لانتاج صلب القضبان . ويمكن الاستغناء عن عملية الكربنة لانتاج صلب القضبان ويتأتى هذا بايقاف النفخ عنـد نسبة عـالية من الكربون وباضافة الفيرومنجنيز منصهرا الى جانب الكربون الموجود فعلا بالصلب تتم عملية نزع الاكسجين بسهولة وتستخدم وحدة خاصة لصهر الفيرومنجنيز الذى يؤخذ فى بودقة صـغيرة لاضـافته الى الصلب الناتج أثناء تفريغه فى المحول كما يلقى أيضا الفيروسليكون والألومونيوم فى البودقة فى نفس الوقت .

ولصلب القضبان المصنوع فى محـولات بسـمر حسـاسية كبيرة للألومونيوم فباضافنه تنخفض السيولة ويصبح غليظ القوام .

ومن الأهمية بمكان أن يراعى بكل دقة عدم تجاوز كمية الألومونيوم المضافة عن ١٠٠ ــ ٢٥٠ جرام لكل طن من الصلب الناتج اذ أن تعدى هذه النسبة يصيب صلب القضبان فى بنيانه الماكروسكوبى بعيوب عديدة تحط من جودته وتفقده قيمته .

وقد يستخدم كمواد مكربنة كل من : الكربون الناعم والانثراسيت وغيرها من المواد الكربونية الأخرى .

وينحصر استخدامها عادة فى رفع نسبة الكربون ٠٥ر ــ ١ر٪ وتضاف ناعمة ــ بعـد نخلها ووضعها فى أكياس من الورق ــ الى الصلب فى البودقة بعد تفريغه من المحول .

خواص واستعمالات صلب بسمر

يتميز صلب بسمر بارتفاع مقاومة النهاية للكسر ونقطة استسلامه اذا قورن بصلب الأفران المفتوحة . وكلما انخفضت نسبة الكربون كلما

تباينت خواصه الميكانيكية تباينا كبيرا وتصل نسبة $\frac{6a}{6L}$ لصلب بسمر الى ٠ر٦٨ ــ ٠ر٧٤ وهى أكبر من مثيلتها لصلب الافران المفتوحة التى تساوى ٠ر٦٤ ــ ٠ر٦٧ ويمكن تفسير ذلك بارتفاع نسبة لكل من الأكسجين والنيتروجين والفوسفور .

ولكن لا يخلو صلب بسمر من بعض العيوب ، فقصافنه عالية خاصة عند درجات الحرارة المنخفضة .

وبسهولة كبيرة يمكن لحام صلب بسمر بواسطة الطرق بينما توجد صعوبة بالغة عند لحامه بواسطة الكهرباء مما يحد من مجال استعماله فى شتى النواحى العملية ولما كان صلب بسمر يحتوى على الفوسفور والنيتروجين بنسب عالية نوعا ، لذلك فانه يستحيل استخدامه اذا كانت خاصية اللدونة مطلوبة عند معالجته على البارد بواسطة الضغط كما فى حالات التشكيل بواسطة السحب ، الدرفلة على البارد ، ويستخدم صلب بسمر عمليا فى صناعة القطاعات الجانبية فى الانشاءات غير الحساسة . كالمسامير والقضبان المدرفلة التى لايجرى عليها بعد ذلك عمليات تشكيل لاحقة كالسحب الى أسلاك ، الأنابيب الملحومة ، الفولاذ سريع القطع .

٨ ــ الموازنة المادية والحرارية لشحنة بسمر

١ ــ الموازنة المادية

فى حساباتنا الآتية نعتبر ١٠٠ كجم كوحدة أساسية لشحنة محول بسمر والجدول الآتى يبين البيانات الخاصة بشحنة بسمر .

جدول (٥)

	نسبة المواد المحتواة ٪				
	ك	س	م	فو	كب
الحديد الزهر	٤ر١	١ر٢	ر٩٢	ر٠٦٥	ر٠٤
المعدن المنفوخ	ر٠٦	ــ	ر١	ر٠٦٥	ر٠٤
كمية المواد المؤكسدة	٤ر٠٤	١ر٢	ر٨٢	ــ	ــ

١ ـ افترض ان ٢٠٪ فقط من الكربون الكلى يتأكسد الى ثانى أكسيد الكربون ، ٨٠٪ يتأكسد الى أول أكسيد الكربون ٠

٢ ـ ١٫٢٥٪ من وزن المعدن ـ يستهلك من بطانة المحول (ديناس) ويذهب الى الخبث ٠

٣ ـ تركيب البطانة كما يأتى : =

س أ ٢ ٩٦٪

لو ٢ أ ٣ ١٫٥٪

كا أ ٢٫٥٪

٤ ـ جميع م أ الناتج يتحد مع س أ٢ والباقى من س أ٢ يتحد مع ح أ مكونا (ح أ ٠ س أ٢) ، وتهمل كمية س أ٢ التى تتحد مع كا أ الناتج من البطانة ٠

وزن البطانة الذى يذهب الى الخبث = $\frac{١٫٢٥}{١٠٠}$ ١٠٠ = ١٫٢٥ كجم

وزن س أ٢ الذى يذهب الى الخبث = ٩٦ر٠×١٫٢٥ = ١٫٢ كجم

وزن م٢ أ٣ الذى يذهب الى الخبث = ٠٫٠١٥×١٫٢٥ = ٠٫٠١٩

وزن كا أ الذى يذهب الى الخبث = ٠٫٠٢٥×١٫٢٥ = ٠٫٠٣١ «

وزن م الذى تأكسد = $\frac{٨٢}{١٠٠}$ ١٠٠ = ٨٢ «

وزن م أ المتكون = $\frac{٨٢ر٠ \times ٧١}{٥٥}$ = ١٫٠٦ «

هذه الكمية من م أ تتحد مع كمية مناظرة من س أ٢ يمكن حسابها كما يلى :

وزن س أ٢ الذى يتحد مع م أ = $\frac{١٫٠٦ \times ٦٠}{٧١}$ = ٩ر٠ كجم

وزن س الذى تأكسد = $\frac{١٫٢}{١٠٠}$ ×١٠٠ = ١٫٢ «

وزن س أ٢ المتكون = $\frac{١٫٢\times٦٠}{٢٨}$ = ٢٫٥٨ «

...

هذه الكمية من س أ٢ سوف تتحد مع كمية مناظرة لها من حأ ، مأ
وسبق أن حسبنا كمية سأ٢ التى تتحد مع مأ وكانت ٩ر كجم

وزن س أ ٢ التى تتحد مع ح أ = ٥٨ر٢ــ٩ر = ٦٨ر١ كجم

وزن ح أ الذى يتحد مع ٦٨ر١ كجم سأ٢

$$= ١٫٦٨ \times \frac{٦٠}{٧٢} = ٢٫٠٢ \text{ كجم}$$

وهذه الكمية من ح أ نحصل عليها بتأكسد وزن من الحديد

$$= \frac{٢٫٠٢ \times ٥٦}{٧٢} = ١٫٥٧ \text{ كجم}$$

***

حساب الاكسجين اللازم لاكسدة الحديد والشوائب

الحديد الزهـــر

١ ـ وزن الكربون الذى تأكسد الى كأ٢

= ٤٫٠٤ × ٢ر = ٨١ر كجم

٢ ـ وزن الكربون الذى تأكسد الى كأ

= ٤٫٠٤ × ٨ر = ٣٫٢٣ «

وزن الاكسجين اللازم لثانى أكسيد الكربون

$$= ٠٫٨١ \times \frac{٣٢}{١٢} = ٢٫١٦ \text{ «}$$

وزن الاكسجين اللازم لأول أكسيد الكربون :

$$= ٣٫٢٣ \times \frac{١٦}{١٢} = ٤٫٣١ \text{ «}$$

وبالمثل نحصل على أوزان الاكسجين اللازمة لأكسدة الشوائب الأخرى ، ويمكن تنظيم هذه العملية فى جدول كالآتى :

جدول (٦)

وزن العناصر التى تأكسدت كجم	الاكسيد الناتج	وزن الاكسجين اللازم / كجم	وزن الاكاسيد الناتجة / كجم
ك ٨١ر	ك أ٢	٨١ر × ٣٢/١٢ = ٢ر١٦	٢ر٩٧
ك ٣ر٢٣	ك أ	٣ر٢٣ × ١٦/١٢ ٤ر٣١	٧ر٥٤
س ١ر٢	س أ٢	١ر٢ × ٣٢/٢٨ = ١ر٣٨	٢ر٥٨
م ٨٢ر	م أ	٨٢ر × ١٦/٥٥ = ٢٤ر	١ر٠٦
ح ١ر٥٧	ح أ	١ر٥٧ × ١٦/٥٦ = ٤٥ر	٢ر٠٢

مواد مفقودة أثناء الانصار ٨ر٥٤

٧ر٦٣

وزن وتركيب الخبث :

س أ٢	٢ر٥٨ + ١ر٢ = ٣ر٧٨ كجم	٥٤ر٧٥٪
ح أ	٢ر٠٢ «	٢٩ر٢٪
م أ	١ر٠٦ «	١٥ر٣٪
لو$_2$ أ$_3$	٠١٩ر «	٣ر ٪
كا أ	٠٣١ر «	٤٥ر ٪
	٦ر٩١ كجم	١٠٠ ٪

٣ – حساب كمية الهواء اللازم

الجدول الآتى يبين تكوين الهواء :

جدول (٧)

العناصر	النسبة حجما	النسبة وزنا	النسبة الوزنية مع الأخذ فى الاعتبار تحلل المياه
أ٢	٢٠ر٧٩	٢٣ر٠٧	٢٣ر٦٢
ن٢	٧٨ر٢١	٧٦ر٣١	٧٦ر٣١
يد٢ أ	١	٠٢ر	–
يد٢	–	–	٠٦ر

وزن المتر المكعب من الهواء = ١ر٢٩ كجم

وزن الهواء اللازم لنفخ ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

$$= \frac{\text{١٠٠} \times \text{٨ر٥٤}}{\text{٢٣ر٦٢}} = \text{٣٦ر١٥ كجم}$$

، حجم الهواء اللازم لنفخ ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

$$= \frac{\text{٣٦ر١٥}}{\text{١ر٢٩}} = \text{٢٨ م}^{\text{٣}}$$

اذاً الكمية المطلوبة من الهواء نظريا لنفخ ١ طن من الحديد الزهر
= ٢٨٠م٣

، ٣٦ر١٥ كجم من الهواء تحتوى على : ٨ر٥٤ كجم من الاكسجين
٢٧ر٥٩ كجم من ن٢   ٠٢ر كجم من يد

ويكون تركيب الغازات الخارجة من المحول كما يلى :

كأ٢ الناتجة = ٩٧ر٢ × $\frac{٢٢ر٤}{٤٤}$ = ٥٣ر١ م٣ — ٥ر١٢٪

كأ الناتجة = ٥٤ر٧ × $\frac{٢٢ر٤}{٢٨}$ = ٠١ر٦ م٣ — ٢ر٢٠٪

ن٢ الناتجة = ٥٩ر٢٧ × $\frac{٢٢ر٤}{٢٨}$ = ٠٧ر٢٢م٣ — ٩٤ر٧٣٪

يد٢ الناتجة = ٠٢ر × $\frac{٢٢ر٤}{٢}$ = ٢٢ر م٣ — ٧٤ر٠٪

الوزن الكلى ١٢ر٣٨ كجم — ٨٣ر٢٩م٣ — ١٠٠٪

ويمكن تنظيم الموازنة المادية فى جدول كالآتى

جـدول (٨)

	المعطى		الناتج
الحديد الزهر	١٠٠	صلب	١٠٠ــ٦٣ر٧ = ٣٧ر٩٢
هــواء	١٥ر٣٦	غازات	١٢ر٣٨
بطانة	٢٥ر١	خبث	٩١ر٦
المجموع الكلى	٤٠ر١٣٧		٤٠ر١٣٧

وفى المحول يتراوح الفاقد من الصلب من ١ : ٥ر١٪ نتيجة لعـدم سيولة الخبث لدرجة تكفى لفصل الصلب تماما ٠

٢ ــ الموازنة الحرارية

يعتمد حساب الموازنة الحرارية لشحنة المحولات على الأساس التالى :
الطاقة الحرارية الداخلة + الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات = الطاقة الحرارية الخارجة ٠

اذ أنه لا يمكن للطاقة أن تفنى أو أن تخلق من عدم ، ويمكن ادماج الطاقة الحرارية المتولدة من التفاعلات مع الطاقة الحرارية الداخلة تحت الحرارة الداخلة بالمحول ٠

اذا / الحرارة الداخلة = الحرارة الخارجة

والحرارة الداخلة تشمل البنود الآتية :

١ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الحديد الزهر ٠
٢ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الهواء الداخل اذا كان ساخنا ٠
٣ ـ كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب ٠
٤ ـ كمية الحرارة المتولدة من تكوين الخبث ٠

والحرارة الخارجة تشمل البنود الآتية : =

١ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الصلب ٠
٢ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الخبث ٠
٣ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الغازات ٠
٤ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الاشعاع ٠

حساب الحرارة الداخلة : =

١ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الحديد الزهر =
= ١٠٠ [١٧٨ر × ١١٥٠ + ٥٢ + ٢٥ر (١٢٥٠ ـ ١١٥٠]
= ٢٨١٧٠ سعرا

حيث :

١١٥٠ : درجة انصهار الحديد
١٧٨ر : السعة الحرارية للحديد الزهر قبل نقطة الانصهار سعر/كجم٠°م
٥٢ : الحرارة الكامنة اللازمة لانصهار الحديد سعر/كجم
١٢٥٠ : درجة حرارة الحديد الزهر عند دخوله المحول °م
٢٥ : السعة الحرارية للحديد الزهر سعر/كجم٠°م

٢ ـ كمية الحرارة التى يحتويها الهواء الداخل

= ١٥ر٣٦ × ٢٣٣ر × ٥٠ = ٤٢٠ سعرا حيث :
٥٠ هى درجة حرارة الهواء الداخل بالمحول °م
٢٣٣ر = السعة الحرارية للهواء عند ٥٠ °م

٣ ــ **كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب : =**

(أ) من الكربون :

= ٨١٣٧ × ٨١ر + ٢٤٥٢ × ٣٠٢٣ = ١٤٥١١ سعرا

(ب) من السليكون :

= ٧٠١٥ × ٢ر١ = ٨٤٢٠ سعرا

(ج) من المنجنيز :

= ١٧٥٨ × ٨٢ر = ١٤٤٢ »

(د) من الحديد :

= ١١٩١ × ٥٧ر١ = ١٨٧٠ »

حيث : ــ

٨١٣٧ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الكربون سعرا

٢٤٥٢ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الكربون سعرا

٧٠١٥ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق السليكون سعرا

١٧٥٨ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق المنجنيز سعرا

١١٩١ : كمية الحرارة المتولدة من احتراق الحديد سعرا

٤ ــ كمية الحرارة المتولدة من تكوين الخبث :

(أ) تكوين م أ ٠ س أ ٢ ١٤٠ سعر / كجم

(ب) تكوين ح أ ٠ س أ ٢ ١٠٥ سعر / كجم

اذا / كمية الحرارة من أ = ٨٢ر × ١٤٠ = ١١٢ سعرا

كمية الحرارة من ب = ٥٧ر١ × ١٠٥ = ١٦٥ سعرا

الحرارة الخارجة :

درجة حرارة الصلب والجلخ = ١٦٥٠ م°

درجة حرارة الغازات الخارجة = ١٥٠٠ م°

١ ــ كمية الحرارة الخارجة مع الصلب

= ٣٧ر٩٢ [١٦٧ر × ١٥٠٠ + ٦٥ + ٢ر (١٦٥٠ − ١٥٠٠)]

= ٣١٩١٤ سعر

حيث :

١٥٠٠ م° = انصهار الصلب

١٦٧ر٠ = السعة الحرارية للصلب قبل نقطة الانصهار
سعر / كجم م°

٦٥ = الحرارة الكامنة لانصهار الصلب سعر / كجم م°

٢ر = السعة الحرارية للصلب المنصهر سعر / كجم م°

٢ ـ كمية الحرارة الخارجة مع الجلخ : ـ

= ٩١ر٦ (٢٦٤ر × ١٦٥٠ + ٥٠) × ٣٣٥٥ سعرا

حيث :

٢٦٤ر = السعر الحرارية للجلخ قبل نقطة الانصهار
سعر / كجم م°

٥٠ = الحرارة الكامنة اللازمة لانصهار الجلخ
سعر / كجم م°

٣ ـ كمية الحرارة الخارجة مع الغازات : ـ

كأ٢ ٥٣ر١ × ٥٣٤ر٠ ١٥٠٠٠ = ١٢٢٥ سعرا

كأ ٠١ر٦ × ٣٢٩ × ١٥٠٠ = ٢٩٦٠ سعرا

ن٢ ٠٧ر٢٢ × ٣٢٩ × ١٥٠٠ = ١٠٩١٠ سعرا

يد ٢ أ٢ ١٢ر × ٩ر٣٢ر × ١٥٠٠ = ١٠٨ سعرا

حيث أن :

٥٣٤ر السعة الحرارية للغاز ك أ ٢

٣٢٩ر السعر الحرارية للغاز ك أ ، ن ٢ ، يد ٢ عند ١٥٠٠ م°

ويمكن وضع الموازنة الحرارية فى جدول كالآتى :

جدول الموازنة الحرارية

جدول (٩)

الحرارة الداخلة	سعرا	النسبة ٪
الحرارة المحتواة فى الحديد الزهر	٢٨١٧٠	٥١ر١
الحرارة المحتواة فى الهواء الداخل	٤٢٠	٧٦ر
الحرارة المتولدة من الأكسدة :		
١ ـ الكربون	١٤٥١١	٢٦ر٣١
٢ ـ السليكون	٨٤٢٠	١٥ر٣٠
٣ ـ المنجنيز	١٤٤٢	٢ر٦٢
٤ ـ الحديد	١٨٧٠	٣ر٤٠
الحرارة المتولدة من تكون الخبث	٢٢٨٠ تقريبا	٠ر٥١
المجموع الكلى	٥٥١١٣	١٠٠٪
الحرارة الخارجة	سعرا	النسبة ١٠٠٪
الحرارة المحتواة فى الصلب	٣١٩١٤	٥٨
الحرارة المحتواة فى الخبث	٣٣٥٥	٦ر١
الحرارة المحتواة فى الغازات الخارجية	١٥٢٠٣	٢٧ر٥
الحرارة المفقودة بواسطة الاشعاع ،		
تحليل الرطوبة الى عناصرها	٢٧٥٦	٥
الحرارة المستهلكة لانصهار الخردة	١٨٨٥	٣ر٤
المجموع الكلى	٥٥١١٣	١٠٠٪

والحرارة المفقودة بالطرق المختلفة يمكن اعتبارها ٥٪ تبعا للبيانات العملية ٠

انتاج الصلب فى محولات توماس
(طريقة بسمر القاعدية)

١ ـ القواعد الأساسية لانتاج صلب توماس

تستخدم محولات توماس ذات البطانة القاعدية لنفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور ٦ر١ـ٢٪ وتصنع هذه البطانة القاعدية من طوب الدولوميت المقطرن ٠

ويشحن المحول أولا بالكمية اللازمة من الجير (أكسيد الكالسيوم) كا أ ، وبعد أكسدة الكربون يبدأ الحديد فى التأكسد ، ويستمر فى تأكسده حتى يتجمع فى الخبث كمية كبيرة من أكاسيد الحديد ويبدأ الجير فى الذوبان فى محلول الخبث وأكاسيد الحديد ، وعندئذ يبدأ الفوسفور فى التأكسد بشدة مكونا خامس أكسيد الفوسفور الذى يدخل فى الخبث فور تكونه ٠

ومن هذا يتضح أن انتاج الصلب بالطريقة القاعدية (طريقة توماس) يتم باستعمال الهواء فقط فى النفخ ، ويستمر دفع الهواء فى المحول حتى نسبة منخفضة من الكربون (٠٤ر ـ ٠٥ر ٪) ولهذا تجرى عملية الكربنة بعد انتهاء النفخ للحصول على الصلب الكربونى ٠

ومن الناحية الحرارية فانه يمكن القول بأن كمية الحرارة المتولدة من أكسدة الفوسفور تكون كافية لرفع درجة حرارة الصلب الناتج الى الدرجة المطلوبة للصلب ٠

وتحت ظروف خاصة قد ترتفع درجة الحرارة كثيرا عن معدلها المعتاد ويكون مناسبا فى هذه الحالة اضافة كمية من الخردة حتى تعود الحرارة الى المعدل المطلوب ٠

ومن هذا يمكننا القول ان الفوسفور يقوم بنفس الدور الذى يقوم به السليكون فى محول بسمر تماما ٠

ويحتوى خبث توماس على نسبة عالية من خامس أكسيد الفوسفور ولهذا فانه باجراء بعض العمليات الخاصة عليه يصبح صالحا للاستعمال كسماد فى الأراضى الزراعية فيقوى تربتها ويزيد خصوبتها ٠

وما ان عرفت طريقة توماس حتى أخذت طريقها فى الانتشار فشملت معظم بلدان غرب أوربا حيث تمتلك هذه البلدان احتياطيا ضخما من خامات الحديد الغنية بالفوسفور ، ولهذا فلا غرو فى أن نحظى طريقة توماس بالمقام الأول فى صناعة الصلب بهذه البلدان ٠

وقد قام الاتحاد السوفيتى بمجهود لا بأس به فى تطوير طرق انتاج الصلب فى محولات توماس حتى يمكن الانتفاع بها فى استغلال خـــام الليمونيت الذى يحتوى على ٤٣٪ حديدا ، وحوالى ٨ر١٪ فوسفورا ، ويوجد خام الليمونيت هذا فى رسوبيات عديدة بمنطقتى كوستانيا وكازاخستان حيث تستخدم هذه الخامات فى انتاج حديد زهر يحتوى على ٨ر١ـ٢ر١٪ فوسفور ٠

٢ ـ تصميم وتشغيل محولات توماس

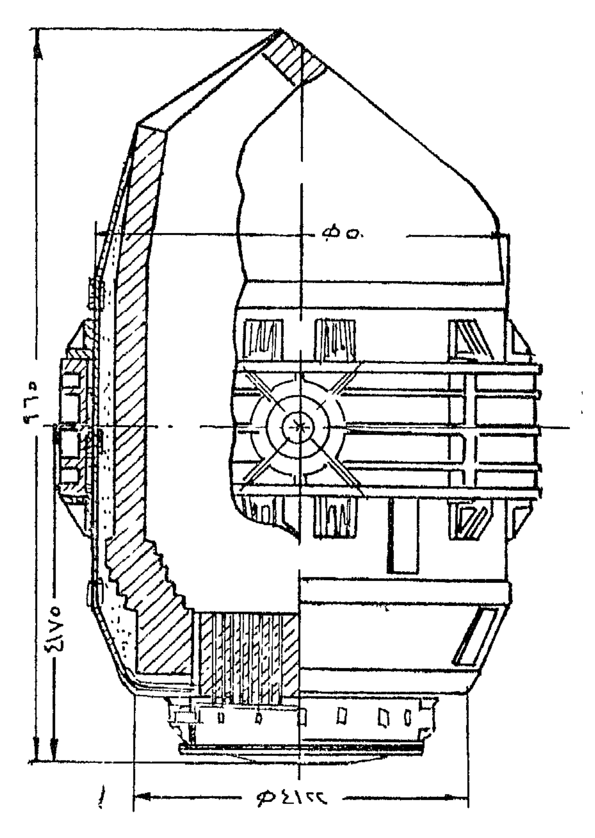
يعتبر تصميم البطانة فى محول توماس وكذلك الأبعاد الهندسيـــة لبعض أجزائه هو نقطة الاختلاف الوحيدة بين محولى توماس وبسمر ٠

ونرى فى شكل (١٨) رسما تفصيليا لأحد محولات توماس ذى سعة ٤٠ ـ ٤٥ طنا ٠

البطانـة :

فى العادة يستخدم طوب الدولوميت المقطرن لتبطين محول توماس ويندر استعمال الدك فى تبطينه (سواء كان الدك كليـا أم جزئيا) ، ويصنع طوب الدولوميت المقطرن ، يستخدم خليط من الدولوميت المحروق حديثا ذى تصنيف حجمى خاص وبقايا الدولوميت المستهلـك فى مرات سابقة (بنسبة ١ : ١) بالاضافة الى كمية من القار ، سبق أن انتزع منه ما يحتويه من الماء بالاضافة الى نسبة من القار اللامائى المسخن الى درجة ٥٠ ـ ٧٠°م ٠

ويجرى خلط هذه المواد ببعضها فى طواحين دوارة ويتم تشكيـل هذا الخليط حسب الأشكال المطلوبة بوضعه فى قوالب ذات أشكال مختلفة ثم يتعرض لضغط شديد وتقضى المواصفات الخاصة بصناعة هذا الطوب أن



شكل (١٨) : محول توماس يسع ٤٠ ـ ٤٥ طنا ٠

يحتوى الدولوميت على اقل نسبة من السليكا (٥ر١ـ٢٪) كما يجب أن لا تتعدى نسبة الألومينا + أكسيد الحديديك (٥ر٢ـ٣٪) ٠

وأثناء التحميص (الكلسنة) لا تتعدى نسبة ما يفقد من الدولوميت ١٪ بأى حال من الأحوال ويستغل المستهلك فى عمل طبقة حشو تمـلأ الفراغ ما بين هيكل المحول وجدار الطوب الدولوميى المعرض للمعدن ٠ هذا بعد اضافة القار اليه حتى يتماسك ٠

وبديهى أن تتعرض الأجزاء السفلى من البطانة للتآكل بشـــدة عن الأجزاء العليا منها الأمر الذى أوجب أن تزداد البطانة سمكا كلما اقتربت من قاعدة المحول (كما فى جدول ١٠) ٠

وقبل أن يصبح المحول جاهزا للاستعمال تسخن البطانة بواسطـة فحم الكوك أو الغاز ويجب أن يكون التسخين شديدا حتى لا يتسرب القار

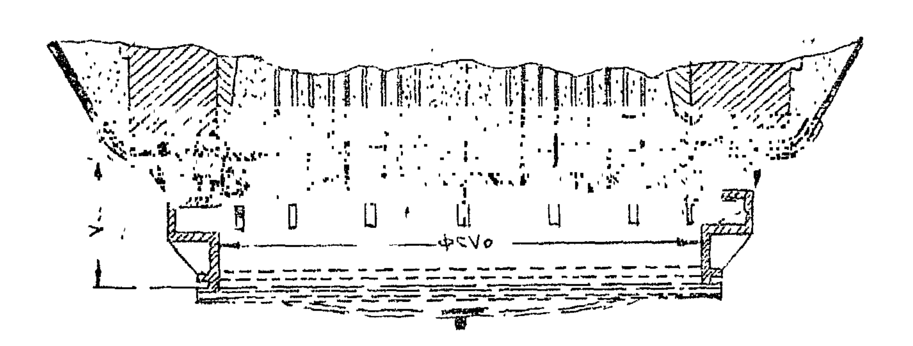
خارج الطوب اذ ينعرض القار للنسحين الشديد فيتفحم ويقوم بدور المادة اللاصقة لحبيبات الدولوميت ٠

وتتأثر البطانة تأثيراً كبيراً بالتفاعلات الكيميائية والظروف الميكانيكية التى تحدث بين المعدن والخبث وفى المتوسط لا تتغير البطانة الا بعد عمل ٣٠٠ صبة وكحد أقصى ٤٠٠ صبة ٠

قاعدة المحول :

كقاعدة عامة ـ تتميز قواعد محولات توماس عن تلك المستخدمة فى محولات بسمر باحتوائها على أنابيب ابرية (كما فى شكل ١٩) ٠

ويتم صنع هذه القواعد بدك خلط من الدولوميت المقطرن ويتوقف عمر هذه القواعد وقوة تحملها أساسا على نوع كل من الدولوميت المستخدم والقار وأيضا على ظروف حرقها ٠



شكل (١٩) : قاعدة ابرية لمحول توماس يسع ٢٠ طنا ٠

ولا يقل عامل التجانس الحجمى لحبيبات الدولوميت أهميـة عن العوامل السابقة وقد وجد أن أنسب الأحجام ٢ ـ ٤ مم ، ولنسبة السلكا التى يحتويها الدولوميت تأثير مماثل ويجب أن لا تزيد هذه النسبة عـلى ٥ر١٪ كما أن حرق القواعد بطريقة سليمة وصحيحة عامل كبير فى تحديد عمر هذه القواعد (يجب أن لا تتعدي نسبة الفاقد أثناء الحرق ١٪) ٠

جدول (١٠)

قطر فوهة المحول	زاوية ميل فوهة المحول ـ ٥	الارتفاع الكلى مم	ارتفاع القاعدة وهى جديدة مم	سمك الطبقه العازلة مم	سمك البطانة	
					الجزء العلوى	الجزء السفلى	القطر الخارجى مم	السعة بالطن
٨٠٠	٣٣	٥١٨٠	٨٨٠	—	٤٠٠	٤٥٠	٣٠٥٠	١٤ـ١٥
١٠٠٠	٥٣	٦٢١٠	٨٠٠	—	٤٥٠	٥٠٠	٣٧٠٠	٢٥
١١٨٠	٤٥	٧٠٩٢	٨٠٠ـ٩٠٠	١٥٠	٥٠٠	٦٠٠	٤٢٠٠	٣٠
١٣٠٠	٤٠	٧٧٥٠	١٠٠٠	السمك الدائم للبطانة لغاية ٣٠٠				

ويجب نزع الماء من القار نزعا تاما (فيجب أن تكون نسبة الرطوبة به اقل من ٥ر٠٪) ٠

ونمر قواعد المحول بالمراحل التالية حتى تصبح جاهزة للاستعمال : فيوضع اطار معدنى له نفس الشكل المطلوب للقاع على لوح من الحديد المصبوب سمكه ٥٠ مم ، ولسهولة الفك والتركيب يتكون هذا الاطار من جزئين أو أكثر ٠ وتنحصر أهمية الاطار فى تشكيل القاعدة وتحميصها (حرقها) وبعد ان يتم حرق القاعدة ينزع الاطار ٠

وعلى طبقات منفصلة يدك خليط الدواوميت دكا جيدا بواسطة ماكينات الدك الرجاجة والهزازة ويتم الكبس على طبقات منفصلة يبلغ سمك كل منهما ٢٠٠ ــ ٣٠٠ مم وفى نفس الوقت تثقب هذه الطبقات بواسطة أسياخ فولاذية لعمل فتحات الهواء (الودنات) فى القاعدة ٠

واستنادا الى طول قطر القاعدة يكون ترتيب هذه الفتحات (الفونيات) موزعة بانتظام على ٥ ــ ٩ دوائر متمركزة ٠

ويتراوح قطر هذه الفتحات بين ١٣ ــ ٦١ مم ، وعلى مدى كبير تتغير المساحة الكلية لهذه الفتحات لكل طن من الشحنة فهى تتراوح بين ١٣ ــ ٢٦ سم ٢ تبعا لسعة المحول وعادة تقع بين ١٥ ــ ١٧ سم ٢ ٠

أما ارتفاع القاعدة عندما تكون جديدة فتتراوح بين ٧٠٠ ــ ١١٠٠مم. وتحرق القواعد فى أفران خاصة لمدة ٩٦ ــ ١٢٠ ساعة ٠ حيث ترتفع درجة الحرارة سريعا الى ٥٠٠ ــ ٦٠٠°م حتى يتسرب القار الى خارج الخليط ٠

وأثناء فترة التحميص تنفصل المواد الطيارة الموجودة بالقار حيث يتفجر القار فيعمل على تماسك حبيبات الدولوميت ويزيد من متانته ٠ وأثناء الاستعمال تتآكل القواعد بشدة عند فتحات الهواء ٠٠ وبالاضافة الى نوع المواد المستخدمة فى صناعة القواعد يتأثر الى حد بعيد عمر القاعدة بعوامل التشغيل المختلفة ، وظروف النفخ ، فمثلا ينخفض استهلاك القاعدة اذا قلت مدة النفخ وكان اندفاع الهواء خارجا من الفتحات سريعا بينما يقل عمر القاعدة اذا حوت عدداً كبيرا من الفتحات وظل الضغط المستعمل ثابتا أو بمعنى آخر انخفضت سرعة الهواء الخارج من الفتحات ٠

وعليه فانه اذا زيد ضغط الهواء ، من ٥ر١ الى ٢ ــ ٥ر٢ ضغطا جويا (مقيسا بمقياس الضغط) مع تثبيت العوامل الأخرى ، طال عمر

القاعدة وفى المتوسط يستمر عمر القاعدة حتى تؤدى ٤٠ ـ ٧٥ صبه ، وقد تبلغ فى بعض الأحيان ١٠٠ صبة ٠

وتفوق القواعد التى استعمل فى دكها الماكينات الهزازة فى صمودها للتآكل تلك التى دكت بواسطة ماكينات الدك ٠

وقد يستخدم المجنزيت فى بعض الأحيان فى عمل الودنات الهوائية الموجودة بالقاعدة وأحيانا تستعمل القواعد ذات الودنات المصنوعة من المجنزيت حيث تشكل تحت ضغط عال ثم يكون حرقها بطريقة خاصة ٠ وفى هذه الحالة تصل قوة تحمل هذه الودنـات للضغـط ٣٥٠ ـ ٦٢٠ كجم/سم٢ ويطول بقاؤها كلما كانت متانتها أشد عند درجات الحرارة العادية ٠

توضع الخلطة على قاعدة من الحديد المصبوب ثم يتحكم فيها بواسطة مسامير خلال الفتحه الوسطى ثم يبدأ العامل فى ملء الفراغات بينها طبقة طبقه بخليط من الدولوميت المقطرن الذى يبلغ درجة حرارته مابين ٧٠ ـ ٨٠°م وتكبس بواسطه ماكينات الدك أو الماكينات الهزازة ٠ وقبل وضع الطبقه الأخيرة نولج أبر خشبية فى فتحات الفصبات حتى تمنع انسدادها ٠٠ ثم تحرق القاعدة بعد ذلك بطريقة خاصة تناسب أنواع الحراريات المستخدمة فتسخن القاعدة أولا الى ٢٥٠°م ثم نرفع درجة حرارتها الى ٦٥٠ ـ ٧٥٠°م ونركب فى المحول قبل أن تبرد تماما ٠

ويجب أن نأخذ جانب الحيطة والحذر فى عدم تعرض القواعد ذات الفتحات المصنوعة من المجنزيت لعوامل التبريـد اذ يفتقـر المجنزيت الى الثبوت الحرارى المناسب ولهذا فعند عدم استعمال المحول يجب أن يظل ساخنا بواسطة فحم الكوك أو الغاز ٠

ويستهلك هذا النوع من القواعد بانتظام ويكفى لصنع عدد كبير من الصبات يصل الى أكثر من ١٠٠ صبة (من ٧٠ ـ ١٤٠ صبة) ٠

وطريقة تغيير القاعدة فى محول توماس هى نفس الطريقة المستخدمة فى محول بسمر ويستخدم لملء الفراغ بين القاعدة والمحـول خليط من الدولوميت المقطرن دكا وفى جدول (١٠) تعطى الأبعاد الأساسية لبعض محولات توماس المختلفة السعة ٠

وفى الوقت الحاضر تستخدم صناعيا محـولات سراوح سعتهـا بين ١٥ ـ ٦٠ طنا ٠

وفى محولات توماس يكون الحجم النوعى (حجم المحول لكل ١ طن

من الشحنة) اكبر منه فى محول بسمر وقد أوجب هذا ضخامة حجم الخبث المتكون وسدة التفاعلات التى تحدث داخل المحول ٠

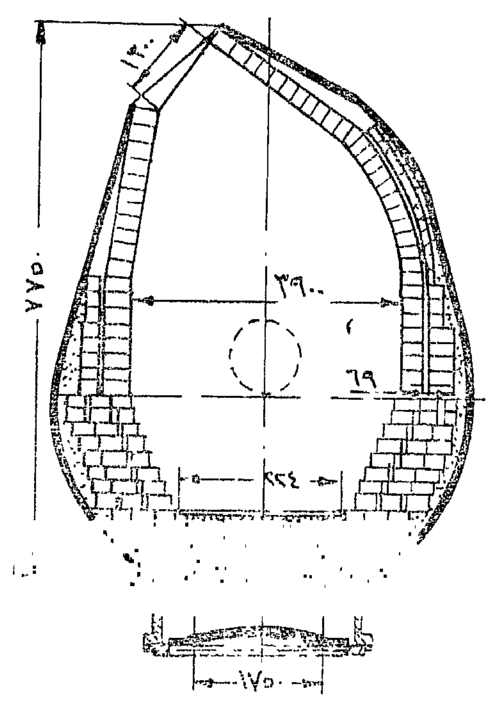
ومن الطبيعى أن سغير قيمة الحجم النوعى بين ١ر١ ــ ٦ر١ م٣/طن فى أول عمر البطانة ، ٣٥ر١ ــ ٣ر٢ م٣/طن فى أواخر عمر البطانة ٠

وتتراوح نسبة ارتفاع المحول الى قطره الخارجى ٣ر١ ــ ٨ر١ ونسبة الارتفاع الى القطر الداخلى (فى حالة البطانة الجديدة) بين ٦ر١ ــ ٣ر٢ تبعا لسعة المحول ٠

وقد أوضحت أبحاث عديدة ان الفترة الزمنية لعملية النفخ ونسبة النتروجين فى الصلب تنخفضان مع انخفاض ارتفــاع حمام (مغطس) المعدن ٠

ويمكن تحقيق ذلك بزيادة قطر المحول مع تثبيت وزن الشحنة وهو ما يحدث فى المحولات ذات الشكل البيضاوى أو التى على شكل الكمثرى وتبلغ النسبة بين محورى البيضاوى (١ : ٤ر١) كذلك يمكن خــفض ارتفاع المعدن فى المحول بانقاص سمك البطانة فى الجانب الذى يتعرض لظروف نحات وتآكل أقل ٠

ويبلغ ارتفاع الحمام فى محولات توماس ٦٠٠ ميلليمتر ٠



شكل (٢٠) : يبين احد المحولات له شكل الكمثرى وسعته ٥٠ طنا ٠

٣ ـ المواد الأولية اللازمة
لصناعة صلب توماس

تشمل المواد الأولية اللازمة لصنع صلب توماس : الحديد والزهر ، الخردة ، الجير ونفايات التشكيل ، ولقد بحثنا آنفا دور الخردة وخام الحديد فى هذه الصناعة ·

ويجب أن يحتوى الجير على أكبر نسبة من أكسيد الكالسيوم كما يجب أن يكون ما يحتويه الكبريت والسلكا والالومنيا أقل ما يمكن اذ أنه بانخفاض نسبة الكبريت في الجير ١ر٠ / ٪ تنخفض فى الصلب الناتج ٣٠ر٠٪

ويستحسن أن يكون الجير المستعمل حديث الحرق لا يحتوى على أى رطوبة وتنص المواصفات على أن يكون التركيب الكيميائى للحديد الزهر كما يلى :

سليكون	**٢ر٠ـ٦ر ٪**
منجنيز	**٨ر٠ـ٣ر١٪**
فوسفور	**٦ر١ـ ٢٪**
كبريت	**٠٨ر٠٪**

ويلاحظ هنا أنه ليس للسليكون الموجود بالحديد الزهر أية أهمية حرارية تذكر وبارتفاع نسبه السليكون فى الحديد الزهر يصبح الخبث ذا طبيعة رغوية مما يؤدى الى زيادة المقذوفات الحديدية أثناء النفخ وبذلك تنخفض الكفاية الانتاجية للصلب الناتج وأيضا تزداد كمية الخبث ويعمل ذلك على سرعة تآكل البطانة القاعدية ·

ومن هذا كله يتضح خطورة تواجد السليكون بكميات كبيرة نسبيا فى الحديد الزهر وقد وجد أن أصلح النسب هى ما بين ٢ر ـ ٣ر ٪ خاصة اذا زود هواء النفخ بالأكسجين النقى أو خليط منه مع بخار الماء ·

واستنادا الى الحقيقة التى مؤداها أنه بتخفيض نسبه السليكون بالحديد الزهر فى الأفران العالية ترتفع نسبة الكبريت به فانه فى كثير من الاحيان تجرى عملية لنزع السليكون من الحديد الزهر التوماسي باستخدام الاكسجين ويتم هذا فى البوادق أو عند صب الحديد الزهر من الأفران العالية ·

وكثيرا مايضاف الحجر الجيرى الى الحديد الزهر بواقع ١٪ منه وزنا فى البودقه قبل عملة النفخ ·

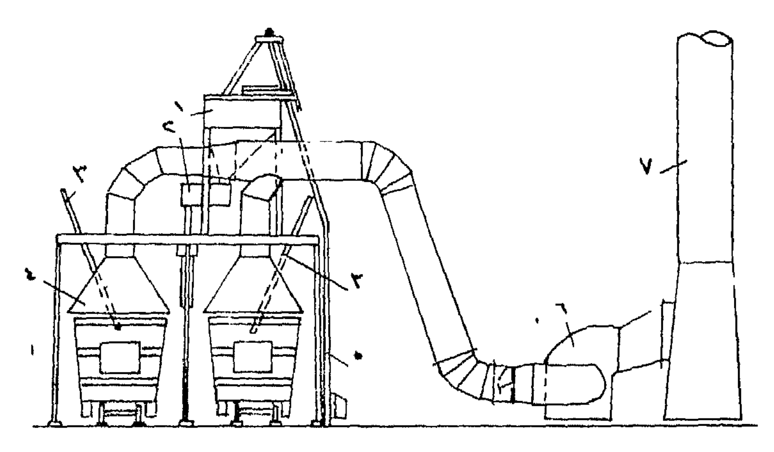
وبعض البيانات الخاصه بعملية نزع السليكون من الحديد الزهر موضحة بجدول (١١) ·

جدول (١١)

		وزن الحديد الزهر (طن)				
		٣٠ر٢	٣٢	٢٩ر٨٥	٣٣ر٥٥	٣٠ر٩
نسبة السليكون الموجود أولا	٪	ر٧٨	ر٥٣	ر٤٢	٢٧	ر٢٥
الانخفاض فى السليكون	٪	ر٣٦	ر٢٢	ر١١	ر٢	ر١٦
نسبة المنجنيز الموجود أولا	٪	١ر١٤	١ر١٧	١ر١	١ر٠٢	٠ر٩١
الانخفاض فى المنجنيز	٪	ر٣٦	ر٣٣	ر١٩	ر٣٣	ر٤٢
نسبة الكربون الموجود أولا	٪	٣ر٩٨	٤ر١٣	٤ر١٥	٤ر٠٨	٣ر٨٩
الانخفاض فى الكربون	٪	ر١١	ر٠٨	ر٠٩	ر٠٦	ر١١
نسبة الفوسفور الموجود أولا	٪	١ر٤٧	١ر٤٦	١ر٤٩	١ر٥	١ر٤٣
الانخفاض فى الفوسفور	٪	ر٠١	ر٠٢	ر٠١	ر٠٤	ر٠٤
حجم الأكسجين المستخدم فى (البودقة) م٣		٢١٣ر٣	١٣١ر٧	١٤٨ر٥	١٤٣ر١	١٧٠ر١
مدة النفخ / دقيقة		٢٠	٢٠	١٧	١٨	١٩

وما هو جدير بالملاحظة انعدام تصاعد الابخرة البنية فى الحديد الزهر التوماسى عندما يتم النفخ فى البودقه بواسطة خليط من بخار الماء والأكسجين ٠

وقد بينت التجارب التى أجريت أنه باستخدام تيار من الاكسجين بمعدل ٨ر٤٢م٣/طن وبخار ماء بمعدل ٤ كجم/طن عند ضغط ٥ر٤ ضغط جوى فان ٢٠ر٠ ٪ من السليكون يتم تأكسده (وهذه النسبة تعادل ٥ر٤١٪ من الكمية الابتدائية) ، ٥٥ر٠٪ من المنجنيز (٥ر٢٩٪ من الكمية الأصلية) أما الفوسفور فقد وجد عمليا أنه لا يطرأ عليه أى تغيير ٠



شكل (٢١) : وحدة تصنيع الحديد الزهر فى البوادق بمعالجتها بالاكسجين :

١ ــ بنكر الحجر الجيرى
٢ ــ المغذى بالاضافات
٣ ــ ودنة الأكسجين
٤ ــ الهوت
٥ ــ فادوس الرفع
٦ ــ العادم
٧ ــ الأتربة

واذا أضيف الى البودقه خليط من خام الحديد والحجر الجيرى بواقع ١٥ كجم/طن من الحديد الزهر أدى ذلك الى زياده فى كمية الشوائب المزالة ٠

وبذلك ترتفع نسبة السلكون المتأكسد الى ٧ر٦٦٪ ، والمنجنيز الى ٤٠ ٪ من نسبتهما الأصلية ويتم النفخ خلال انبوبة فولاذية قطرها بوصة واحدة ومغمورة فى المعدن الموجود فى البودقة حتى عمق ١٥٠ ــ ٢٠٠ مم ٠

ومن الصعوبة بمكان ازالة الكبريت من الحديد التوماسى ولهذا كان لزاما أن تصل به الى أقل نسبة ممكنة ودائما يحتوى الحديد الزهر التوماسى على كربون أقل مما يحتويه الحديد الزهر البسمرى ٠

وتنحصر نقطة انصهار الحديد الزهر التوماسى بين ١٠٥٠ ـ ١١٠٠°م ويعمل ارتفاع نسبة الفوسفور به على زيادة سيولته مما يساعد على خلط الهواء بالمعدن جيدا ٠

٤ ـ فترات النفخ المختلفة والتفاعلات التى تحدث فى محول توماس

تغيير التركيب الكيميائى للصلب والخبث أثناء مراحل النفخ المختلفة

يوضح شكل (٢٢) التغييرات المتوقعة فى تركيب الصلب والخبث كما يبين درجات الحرارة طوال عملية نفخ الهواء فى محول توماس ٠

ويمكن تقسيم مراحل النفخ المختلفة الى ثلاث مراحل فرعية :

الفترة الأولى :

يشحن المحول بالجير الحى والخردة والحديد الزهر ثم يثبت فى وضع رأسى مع تشغيل هواء النفخ فتستهل أولى الفترات فى عملية النفخ مع ظهور لهب قصير وضعيف الاضاءة وتشبه هذه المرحلة نظيرتها فى مراحل النفخ بمحولات بسمر حيث تختص بأكسدة المنجنيز والسليكون :

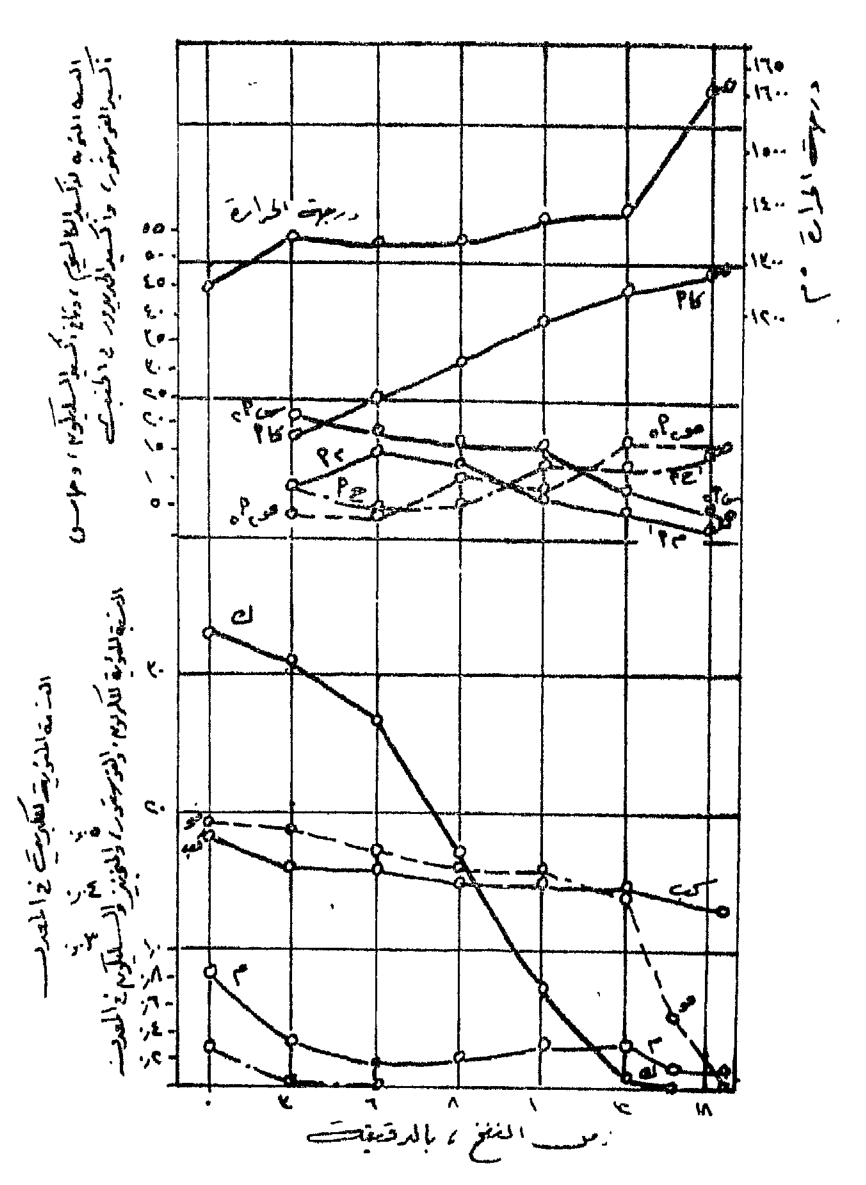
س + ٢ ح أ ← ٢ ح + س أ$_{٢}$

م + ح أ ← ح + م أ

ويحدث هذان التفاعلان خلال الدقائق الأولى للنفخ :

ويتأكسد الكربون أيضا خلال هذه المرحلة ولكن بمعدل منخفض جدا يكاد يكون غير ملحوظ وذلك لانخفاض درجة الحرارة ويتكون خبث هذه المرحلة من م أ ، س أ٢ ، ح أ كما فى المرحلة الأولى من النفخ فى محولات بسمر وتذوب فى الحديد المصهور نسبة ضئيلة من الجير الحى (أكسيد الكالسيوم) ويظل الباقى محتفظا بحالته الصلبة ومنفصلا عن الشحنة المنصهرة مما يؤدى الى احتواء الخبث على جزء كبير من سليكات الحديد التى تتكون تبعا للمعادلة الآتية نطفو فوقها كتل الجير الحى :

٢ ح أ + س أ$_{٢}$ ← س أ$_{٢}$ (ح أ)$_{٢}$



شكل (٢٢) التغير فى التركيب الكيميائى لكل من المعدن والخبث ، ودرجة الحرارة اثناء النفخ بالهواء فى طريقة محولات توماس ٠

وفى نهاية المرحلة الأولى تكون لدينا كمية كبيرة من الحرارة نتيجة لعمليات التأكسد وكذلك لتكون الخبث مما ينجم عنه ارتفاع في درجة حرارة الشحنة ٠

ونستغرق هذه المرحلة نحو ثلاث دقائق وتحتوى الغازات الناتجة عنها على حوالى ٧ ـ ١٢ ٪ من الأكسجين ، ١٠ ٪ من ثانى أكسيد الكربون ، ٨٠ ٪ من النيتروجين ٠

٣ ـ الفترة الثانية :

وتنفرد هذه المرحلة بأكسدة الكربون متميزة بنمو سريع وواضح فى طول اللهب المنبعث من فوهة المحول مع وميض وشدة فى الأضاءة لكنها تكون أقل اضاءة عن تلك التى فى حالة محول بسمر ويرجع هذا الى انخفاض نسبة السليكون فى شحنة توماس عن نسبة السليكون فى شحنة بسمر السبب الذى يؤدى الى انخفاض نسبى فى درجة الحرارة كما أن التفاعل : ح أ + ك ⟵ ح + ك أ الماص أيضا للحرارة يعمل على خفض درجة الحرارة أيضا ٠

وأثناء هذه الفترة يتأكسد الفوسفور أيضا بنسبة غير محسوسة ويمكن اهمالها ، وبارتفاع درجة الحرارة فى نهاية هذه المرحلة يتمكن أكسيد المنجنيز من الاختزال وهذا بديهى نظرا لأن تأكسد المنجنيز تفاعل طارد للحرارة وهذا تعليل مناسب ومعقول يوضح سبب ارتفاع نسبة المنجنيز ثانية فى الصلب الناتج ٠

والمنحنى الذى يبين سلوك المنجنيز أثناء عملية النفخ يشبه تلك الحدبة (التى تشبه سنام الجمل) وهذه الحدبة تمثل الارتفاع المفاجىء فى نسبة المنجنيز فى الصلب ٠

وتتوالى تباعا فى هذه المرحلة العمليات المختلفة لتكوين الخبث فيبدأ الجير فى الذوبان ويتحد بالسليكا كما فى التفاعل :

٢ ح أ + (كا أ) ٢ س أ $_{٢}$ = ٢ كا أ ٠ (ح أ) ٢ ٠ س أ٢

كما يتحد جزئيا بخامس اكسيد الفوسفور فو ٢ أ ٥ كما فى التفاعل

٤ (كا أ) + ٥ (ح أ) + ٢ فو ⟵ (كا أ)$_{٤}$ فو$_{٢}$ أ$_{٥}$ + ٥ ح

وبينما تزداد نسبة الجير كا أ فى الخبث تنخفض كمية السليكا فيه وعندما نصل الى نهاية المرحلة تبدأ شعلة اللهب فى الشحوب والقصر نتيجة لتأكسد معظم الكربون فقد تصل نسبة الكربون الى حوالى ٠٥ر ٪ ٠

وبتحليل الغازات الناتجة فى أول المرحلة الثانية من مراحل النفخ نجد أنها تحتوى على نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون ك أ قد تصل الى

أكثر من ٣٠٪ بينما نسبة ثانى أكسيد الكربون ك أ ٢ لا تتعدى ٥٪ ونسبة النتروجين تكون تقريبا ٦٥٪ وبالاقتراب من نهاية هذه المرحلة نجد أن نسبة أول أكسيد الكربون فقد انخفضت بشدة فى الوقت الذى ترتفع فيه نسبة النتروجين التى تبلغ ٩٢٪ ولا يظهر للأكسجين أى أثر فى هذه التحاليل بينما يظهر وجود الهيدروجين فى الغازات الناتجة ولو أن نسبته تكون ضئيلة جدا لا تتجاوز ٣ر٪ ويكون ذلك نتيجة لتحلل الرطوبة الموجودة بهواء النفخ ·

٣ ــ الفترة الثالثة :

المرحلة الثالثة والأخيرة هى المرحلة التى يتم فيها ازالة الفوسفور ، وعندما تكون كمية الكربون منخفضة تزداد كمية أكسيد الحديدوز فى الخبث ويذوب الجير الحى فى المحول بسهولة وتعتبر هذه أحسن الظروف لأكسدة الفوسفور واتحاده بالجير كما فى التفاعلات ·

٥ ح أ + ٢ فو ← فو٢ أ٥ + ٥ ح

٢ فو٢ أ٥ + كا آ ← ٢ (فو٢ أ٥) . كا أ

ومما هو واضح أن كمية كبيرة من الحرارة تتكون نتيجة لعمليات الأكسدة والخبث مما يعمل على رفع درجة حرارة المعدن ويزيد من سيولته، ويستمر النفخ فى هذه الفترة حتى نحصل على النسبة المطلوبة من الفوسفور ·

ويتخلل هذه الفترة عمليات تصحيح فنؤخذ عينة من المعدن داخل المحول ويكشف عن الفوسفور بمجرد النظر خلال نظارة خاصة ، وتحتاج هذه العملية الى خبرة طويلة ·

وأثناء هذه الفترة تتأكسد كمية لا بأس بها من الحديد فتنبعث من فوهة المحول أبخرة بنية كثيفة من أكاسيد الحديد ·

ويتعذر التنبؤ بالدرجة التى وصلت اليها عملية ازالة الفوسفور بمجرد النظر الى شعلة اللهب المنبعثة من فوهة المحول بل يمكن عمل تقدير مبدئى ذى دقة كافية لدرجة ازالة الفوسفور وذلك استنادا الى عملية التوقيت الزمنى بعد الفترة الثانية مباشرة حيث يظهر بوضوح اختزال اللهب فى هذه الفترة ويصبح الخبث مشبعا بخامس أكسيد الفوسفور وأكاسيد الحديد المختلفة بينما تنخفض نسبة ثانى أكسيد السليكون وترتفع كمية الجير الحى (أكسيد الكالسيوم) نسبيا ·

أما الغازات المتصاعدة خلال هذه الفترة فتتكون أساسا من النتروجين كما يتصاعد أول وثانى أكسيد الكربون بنسبة ضئيلة ·

ويتضح من ترتيب هذه الفترات استحالة توقف عملية النفخ للحصول على صلب عالى الكربون لأنه فى هذه الحالة سوف يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور ولكن يمكننا رفع نسبة الكربون باضافة مواد مكربنة مثل الشبيجل ٠

٥ ـ ازالة الكبريت من محول توماس

اذا احتوى الحديد الزهر التوماسى على نسبة زيادة من المنجنيز ١٪ فان التفاعل الطارد للحرارة يحدث أثناء نقل الحديد الزهر الى الخلاط وأيضا فيه ويكون نتيجة لهذا تكون كبريتيد المنجنيز م كب وهذا المركب شحيح الذوبان فى الصلب عن كبريتيد الحديد ح كب أما فى المحول فلا توجد الظروف الملائمة لحدوث مثل هذا التفاعل ٠

وقد يتم ازالة الكبريت بتكوين كبريتيد الكالسيوم كا كب وذلك بتفاعل م كب ، ح كب مع أكسيد الكالسيوم كا أ ٠

وبفحص ظروف الاتزان وتكوين كبريتيد الكالسيوم يتضح أنه لازالة الكبريت جيدا يجب أن يكون الخبث محتويا على كمية كبيرة من أكسيد الكالسيوم المفرد ، محتويا على كمية منخفضة من أكسيد الحديدوز ، وأكسيد المنجنيز ٠

وفى محول توماس عندما تقترب عملية النفخ من الانتهاء يبدأ الجير فى الذوبان فى الخبث ويصبح عندئذ ذا أثر كبير عندما تكون نسبة الكربون منخفضة وكمية أكسيد الحديدوز بالخبث عالية وهذا يقيد (أو يحدد) درجة ازالة الكبريت وفى الصبة المبينة بشكل (٢٢) لا تزيد درجة الازالة ٥ر٢٣٪) ٠

ولهذا السبب فانه لانتاج صلب منخفض الكبريت يجب اجراء عملية ازالة الكبريت على الحديد الزهر قبل صبه فى الخلاط أو المحول ٠

ويمكن ازالة الكبريت من الحديد الزهر باضافة (الصودا آش) أو خليط يحتوى على الصودا ، الجير ، الفلوريت ٠

وقد أجريت عدد من التجارب لاختبار حقن الحديد الزهر التوماسى بالجير الناعم بواسطة تيار من النتروجين وفى بودقة خاصة ٠ وقد وجد أن الكبريت المحتوى قد انخفض بنسبة ٩٠٪ خلال ثلاث أو أربع دقائق بينما تظل درجة الحرارة ثابتة ؛

٦ ـ خبث توماس

نظرا لارتفاع نسبة خامس أكسيد الفوسفور بخبث توماس فانه بعد معالجته بطريقة خاصة يصبح نافعا لاستخدامه كسماد للأرض الزراعية وقد أوضحت الأبحاث أن خامس أكسيد الفوسفور هـذا يكون مرتبطا بأكسيد الكالسيوم على هيئة (كا أ)$_{٤}$ (فو$_{٢}$ أ$_{٥}$) كما يحتوى الخبث أيضا على عدد من المركبات ٢كا أ ٠ سأ٢ . كا أ ٠ لو٢ أ ولكى يكون الخبث مفيدا للتربة الزراعية كسماد يجب أن يحتوى على كمية مناسبة من السليكا ٠ ولهذا فانه أحيانا يضاف بعض رمل الكوارتز الى الخبث أثناء صبه فى حلل الخبث ، ويجب أن تقل نسبة خامس أكسيد الفوسفور بخبث توماس عن ١٤ ــ ١٦٪ وعادة ما تكون التحاليل الكيميائية النهائية لخبث توماس الناتج عن نفخ الحديد الزهر بالهواء فى هذه الحدود ٠

ويقع تركيب خبث توماس عند نهاية النفخ بالهواء فى الحدود التالية :

كا أ ٤٥ ــ ٥٠٪ ، سأ$_{٢}$ ٥ر٣ ــ ٦٪ ، فو$_{٢}$ أ$_{٥}$ ١٦ ــ ٢٢٪ ، م أ ٤ ــ ١٠٪ ح أ ٥ر١٢ ــ ١٧٪ ، لو$_{٢}$ أ$_{٣}$ ١ ــ ٢٪ ، مغ أ ٥ر٢ ـ ٦٪ كما هو موضح بجدول (١٢) ٠

جدول (١٢)

تركيب الخبث ٪								
كا أ	س أ٢	فو٢ أ٥	م أ	لو٢ أ٣	ح أ	مغ أ	كا أ	كا أ / س أ٢ + فو٢ أ٥
٤٨ر٣١	٥ر١٧	١٧ر٨٨	٤ر١٩	١ر٩٢	١٧ر٧٢	٢ر٨٢	٠ر٩٣	٢ر٠٩
٤٧ر٨٢	٦ر٠٥	١٧ر٥٧	٤ر٨٣	١ر٥٧	١٨ر٠٨	٢ر٨٩	٠ر٤٨	٢ر٠٤
٥٠ر٨٠	٤ر٨	٢١ر٣٠	٤ر٣٢	١ر٣٢	١٣ر٩	٢ر٤٨	٠ر٥٨	١ر٩٥

٧ — الانحرافات فى تشغيل محولات توماس
وطرق علاجهـــا

الانخفاض فى درجة حرارة الشحنة :

لا شك فى أن أهم المستلزمات للحصـــول على صـــلب بالمواصفات المطلوبة هو :

١ — حديد زهر ذو تحليل كيميائى ودرجة حرارة ثابتتين ٠

٢ — توافر الجودة العالية فى الخام ، والجير ، والخردة ٠

وفى أثناء التشغيل يكون هناك احتمال كبير لحدوث الانحرافات المختلفة بالرغم من ثبوت العوامل المختلفة والظروف الأخرى ٠ ففى كثير من الأحيان ترتفع درجة الحرارة داخل المحول كثيرا وبذلك تزداد الفرصة لهروب المقذوفات الحديدية وتناثرها خارج المحول ٠ وفى أحيان أخرى تنخفض درجة الحرارة بشدة وفى هذه الحالة يفقد كثير من المعدن نتيجة لصبه عند هذه الحرارة المنخفضة ٠

ويرجع الارتفاع الشديد فى درجـة الحرارة الى تواجد الشـوائب (السليكون ، منجنيز ، والفوسفور) فى الحديد الزهر بكميات كبيرة وفى مثل هذه الظروف يكون من المناسب تصحيح الحرارة الى الدرجة المطلوبة باضافة كمية من الخردة ، والخام ، والنفايات المعدنية أو الجير ٠

وفى أغلب الأحيان يكون الارتفاع الشديد فى درجة حرارة الحديد الزهر وارتفاع نسبة أحد مجموعة الشوائب مرده الى حدوث بعض الأخطاء العارضة والتى يجب تلافيها ٠

واذا كان الارتفاع الشديد فى درجة الحرارة راجعا الى زيادة نسبة السليكون فى الحديد الزهر الشديد السخونة فانه يمكن تبريد الشحنة الى الدرجة المطلوبة باضافة الخردة وبعض الجير أثناء الفترة الثانية ٠ وبعد عدة دقائق من النفخ يزال الخبث المتكون ثم يضبط الخبث الجديد بواسطة اضافة الجير وعندئذ نتمكن من ضبط درجة حرارة الشحنة ونتلافى تناثر المقذوفات خارج المحول بسبب صغر حجم الخبث ٠

واذا كان المنجنيز هو المسئول عن هذا الارتفاع فى درجة الحرارة أضيفت الخردة وحدها ٠

وزيادة نسبة الفوسفور تعمل على رفع درجة الحرارة فى الفترة الثالثة

وفى هذه الحالة يكون التصحيح باضافة قطع صغيرة من الخردة والنفايات المعدنية حتى يتم انصهارها فى وقت قصير ·

وأحيانا يكون التبريد خلال الفترة الثالثة بواسطة قوالب من النفايات المعدنية والجير اذ أنه لبس من المنطق فى شىء اضافة الجير فقط فى الفترة الثالثة لأنه باضافته يصبح الخبث غليظا (غليظ القوام) وتزداد لزوجته مما يؤدى الى فقد كثير من الصلب الناتج نتيجة لتصيد الخبث له ··· هذا بالاضافة الى ضخامة كمية الخبث ·

ومن المستحسن اضافة خام الحديد والنفايات المختلفة من عمليات الدرفلة بقصد تبريد الشحنة وذلك قبل الفترة الثالثة من فترات النفخ · وتتوقف الاضافات على درجة التسخين المطلوبة ·

وباضافة خام الحديد والنفايات المعدنية قرب نهاية الفترة الثانية تقلل نسبة النتروجين الموجود بالصلب لأنها تعتبر مصدرا ثانويا للأكسجين اللازم لعمليات الأكسدة وعلى هذا الأساس يتحدد مدة النفخ تبعا لكمية هذه الاضافات وبذلك تقل فرصة ذوبان النتروجين فى الصلب ·

ويفضل اضافة النفايات المعدنية من خام الحديد حيث انها لا تحتوى على السليكا ويضاف الخام على هيئة كتل مناسبة فى الحجم حتى لا يتطاير بعيدا عن المحول أثناء النفخ ·

القصور الحرارى :

يرجع القصور الحرارى هذا الى انخفاض الحرارة الطبيعية والكيمائية للحديد الزهر والمقصود بالحرارة الكيمائية هو ما يحتويه الحديد الزهر من شوائب قابلة للتأكسد مثل السليكون ـ المنجنيز ، والفوسفور وتعالج مثل هذه الحالة باضافة السليكو شبيجل فى المحول فيتأكسد ما به من سليكون ومنجنيز وبذلك ترتفع درجة الحرارة ·

أما اذا كان هذا القصور الحرارى نتيجة لاضافة الجير بكميات كبيره كان مناسبا اضافة الفيروسليكون وعندئذ يتحد الجير الزائد مع السليكا الناتجة ويصبح الخبث أكثر سيولة ·

ومما هو جدير بالذكر أنه اذا لم يكن الجير قد تم تحميصه جيدا لتحليل الحجر الجيرى تماما أدى ذلك الى استهلاك كمية كبيرة من حراره الشحنة فى هذا الغرض وانخفضت درجة الحرارة ولاستعمال مثل هذا الحجر يجب تأخير صب الحديد الزهر فى المحول بعض الوقت حتى يمكن استغلال بعض حرارة المحول فى تحميص الجير المضاف جيدا ويجب أيضا اضافة بعض الاضافات المسخنة فى مثل هذه الحالة ·

٨ ـ الطريقة الحديثة لانتاج الصلب التوماسى
منخفض النتروجين ـ منخفض الفوسفور

يختلف صلب توماس عن صلب الافران المفتوحة اذ يحتوى على نسبة أعلى من النتروجين والفوسفور فيحتوى صلب توماس المطاوع والذى تم صنعه بنفخ الهواء فقط على ١٢٠ر ـ ٠٩ر٪ نتروجينا (يحتوى صلب الأفران المفتوحة على ٠٤ر ـ ٠١ر٪ نتروجينا) ، ٠٥ر ـ ٠٩ر٪ فوسفورا وهذه النسبة أقل من ٠٣ر٪ فى صلب الأفران المفتوحة ٠

ووجود مثل هذه الشوائب بالنسب المذكورة فى صلب توماس يكسبه كثيرا من الخواص التى تجعل ميدان استعماله وتطبيقاته محدودا وضيقا فهو أكثر هشاشة عن صلب الأفران المفتوحة وقابليته للحام الكهربائى ضعيفة ومن الصعوبة تشكيله باردا ٠

ويمكن تلافى مثل هذه العيوب بتخفيض نسبة النتروجين الممتص فى الصلب أثناء النفخ والاقلال مما يحتويه من فوسفور ٠٠ ولقد أجريت أبحاث واسعة فى هذا المجال أدت الى وجود العوامل الآتية والتى لها التأثير المباشر والأساسى فى نسبة النتروجين الممتص بصلب توماس ٠

١ ـ درجة الحرارة عند نهاية النفخ ، وقد وجد انه اذا كانت درجة حرارة الشحنة أثناء النفخ معتدلة فان الصلب الناتج يحتوى على نتروجين أقل عند نفس درجة الحرارة النهائية ٠

٢ ـ عملية النفخ ٠

بديهى أنه كلما قل زمن النفخ كلما قلت فرصة تلامس النتروجين والصلب ٠

٣ ـ معدل تأكسد الكربون : يتناسب معدل ازالة النتروجين مع معدل احتراق الكربون ٠

٤ ـ ارتفاع الشحنة المنصهرة داخل المحول ٠

يقل ذوبان النتروجين فى الصلب كلما قل ارتفاع طبقة المعدن داخل المحول ٠

٥ ـ كمية النتروجين فى غازات المحول ٠

يمكن الحصول على صلب توماس منخفض النتروجين بمراقبة الظروف المطلوبة ، وتستخدم الطرق الآتية فى مثل تلك الظروف :

(أ) ضبط درجة الحرارة باضافة خام الحديد والنفايات المعدنية ·

(ب) استعمال النفخ الجانبى والسطحى واختزال عمق سطح المعدن فى المحول ·

(جـ) استعمال خليط من الهواء والبخار فى النفخ ·

(د) تزويد هواء النفخ بالاكسجين ·

(هـ) استعمال خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ ·

(و) استعمال خليط من الاكسجين وثانى اكسيد الكربون فى النفخ ·

ضبط درجة الحرارة باضافة خام الحديد والنفايات المعدنية :

يمتص الفولاذ الجزء الاكبر من النتروجين أثناء الفترة الأخيرة من فترات النفخ عندما ترتفع درجة الحرارة بحدة ويقدر الارتفاع فى نسبة النتروجين بمقدار ٠٫٠٠٢٪ لكل ٥٠° م فى درجة الحرارة ارتفاعا اذا استخدم الهواء فقط فى النفخ ، وعلى هذا الأساس فان ضبط درجة الحرارة عند نهاية النفخ كعامل أساسى وهام لاختزال نسبة النتروجين الذائبه فى الصلب الى أقل حد ممكن · ويمكن استخدام كل من الخردة – الجير – الحجر الجيرى – خام الحديد – النفايات كعوامل مبردة وكلما زادت الاضافات المبرده كلما قلت نسبة النتروجين عند ثبوت درجة الحرارة النهائيـة للعملية ·

وباضافة خام الحديد أو النفايات المعدنية نحصل على نتائج أفضل لانه فى مثل هذه الحالة الى جانب الانخفاض فى درجة الحرارة فاننا نحتاج الى فترة نفخ أقصر بسبب اشتراك هذه المبردات فى مد الشوائب بما تحتويه من أكسجين وتقل تبعا لذلك نسبة النتروجين فى الصلب الناتج · واستنادا الى درجة الحرارة أثناء النفخ وكمية السليكون بالحديد الزهر يمكننا تحديد كمية الخام والخردة التى يجب اضافتها وتتراوح فى الغالب بين ٣ – ٨٪ من وزن الحديد الزهر سواء كان ذلك فى بداية النفخ أم خلاله · وتنخفض نسبة النتروجين بالصلب بحدة خصوصا عند نهاية فترة أكسدة **الكربون** ·

واذا كانت كمية المبردات المضافه كبيرة نسبيا فانه فى هذه الحاله يجب سطرها قسمين يضاف أولهما أثناء الفترة الأولى من فترات النفخ والثانى خلال فترة النفخ الثانية حتى نتلافى انخفاضا كبيرا فى درجة الحرارة عند نهاية النفخ ·

ولقد ثبت أنه باضافة ٥٠ كجم من هذه المبردات لكل طن من الصلب تقل نسبة النتروجين به ٠٠٢ر٪ ٠

وباضافة خام الحديد بكميات تتراوح بين ٢ ــ ٢ر٢٪ من وزن الحديد الزهر قبل النفخ ، يزداد معدل احتراق الكربون وتقل تبعا لذلك نسبة النتروجين (فلا تزيد عن ٠١٢ر٪) ٠ والفوسفور أيضا ٠ ويعزى الانخفاض فى نسبة الفوسفور الى سرعة تكون الخبث عند اضافة خام الحديد وارتفاع نسبة أكاسيد الحديد به ٠

طريقة النفخ المزدوج (النفخ على مرتين) :

وفى هذه الطريقة توضع ٥٠ ــ ٦٠٪ من الشحنة فقط فى المحول بعد شحنه بكمية الجير اللازمة كلها ثم يبدأ النفخ بالضغط الكلى ويستمر النفخ حتى تصل بالكربون الى نسبة ٤٠ر ــ ٠٥ر٪ فيتوقف النفخ ثم تضاف كمية الحديد الزهر المتبقية وعندئذ تبدأ تفاعلات عنيفة بين الشوائب الموجودة بالحديد الزهر وبين الخبث الغنى بأكاسيد الحديد ونتيجة لهذا يزال الفوسفور جزئيا من الصلب المتكون وعندما تقل التفاعلات عنفا يعاد النفخ مرة ثانية لمدة دقيقتين عند ضغط أقل من الضغط الأول ٠

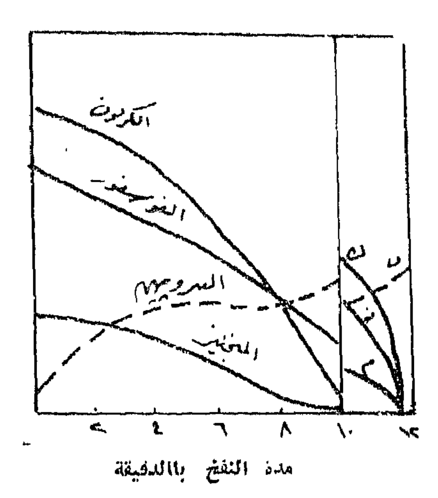
وعند نهاية النفخ فى المرة الثانية تهبط كمية الفوسفور بنسبة ٠٤٥ر٪ ٠

ولما كان النفخ فى المرة الثانية قد بدأ عند نسبة من الكربون عالية نسبيا لذا كانت كمية الحديد المفقودة من جراء التأكسد أقل منها فى حالة النفخ بالطريقة العادية (النفخ دفعة واحدة) ٠ فمثلا اذا كانت تحاليل الخبث المتكون بطريقة النفخ العادية هى : ــ

١٠٪ حديدا ، ٥٪ منجنيزا ، ١٧٪ خامس أكسيد الفوسفور فانه بتطبيق طريقة النفخ على مرتين تصبح التحاليل كالآتى : ٥ر٨٪ من الحديد ، ٤٪ من المنجنيز ، ١٧٪ فو ٢ أ ٥ ٠

ومن أهم مميزات هذه الطريقة انخفاض نسبة النتروجين بالصلب الناتج حيث يتم النفخ فى المره الاولى وارتفاع المعدن بالمحول فيكون الانخفاض للنصف وفى مدة زمنيه أقصر اذا قورنت بالطريقة العادية ٠

ويبين الشكل رقم (٢٣) سلوك الشوائب أثناء تأكسدها بتطبيق طريقة النفخ المزدوج ٠



شكل (٢٣) : يبين أكسدة الشوائب بالطريقة المزدوجة

النفخ الجانبى والسطحى :

تقل مدة تعرض الحديد لهواء النفخ بانخفاض سطح المعدن فى المحول وبالتبعية يقل ذوبان النتروجين فى الصلب الناتج ٠

ولقد اثبتت التجارب أنه عند انتهاء عمر بطانة المحول أى عندما تكون البطانة قد بليت تماما يقل النتروجين الممتص بالصلب ٠

ولقد بات مؤكدا أنه بخفض سطح المعدن فى المحول ١٠٠ مم تقل نسبة النتروجين فى الصلب بمقدار ٢٠٠ر٪ ٠

وفى النفخ الجانبى يدفع تيار الهواء فى المحول تحت طبقة رقيقة من المعدن أو عند سطحه بالكاد ، ولهـــذا فان الجزء الاعظم من المعدن لا يكون اتصاله بهواء النفخ مبـــاشرا ٠ الأمر الذى من شأنه أن تكون فرصة ذوبان النتروجين بالصلب أقل ٠

وتتاكسد الغالبية العظمى من الشوائب تأكسدا غير مباشر اذ يقوم أكسيد الحديدوز منتشرا فى شتى أنحاء المعدن بتقـــديم ما يحمله من أكسجين لها ولهذا تستغرق عملية التأكسد هذه مدة أطول وتطول عملية النفخ ٠

فمثلا تستغرق عملية النفخ العاديه (النفخ خلال قاع المحول) ٢٦ ثانية لكل طن من الصلب الناتج بينما تستغرق فى حالة النفخ الجانبى ٦٠ ثانيـــة / طن صلب وبمعنى آخـــر تهبط سعة المحـــول الى النصف عموما ٠

ولقد جعلت الحرارة الزائدة والناتجه عن احتراق أول أكسيد الكربون فى الامكان عمليا نفخ الحديد الى الدرجة المطلوبة لصب الصلب حتى لو احتوى الحديد الزهر على ٢ر – ٣٥ر ٪ فوسفورا ٠

ومما يجب معرفته احتواء الخبث على نسبة من أكاسيد أعلى فى حالة استخدام طريقة النفخ من خلال قاع المحول ، ولهذا فان عملية ازالة الفوسفور تكون أكثر فاعلية ونجاحا باستخدام طريقة النفخ الجانبى لمحول توماس فى حالات خاصة وعندما تكون نسبة الفورسفور بالحديد الزهر حوالى ٥ر١٪ فان الصلب الناتج يحتوى على فوسفور لغاية ٠٣ر٪ دون اعادة عملية النفخ ، وبصيغة أخرى يزال الفوسفور أثناء حرق الكربون ٠

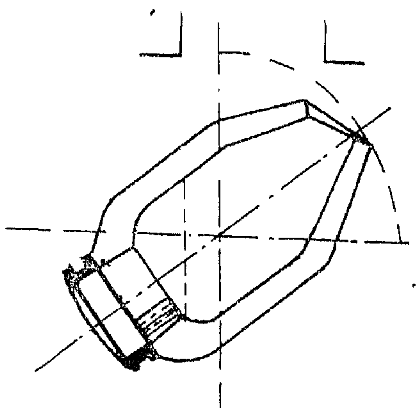
وقد أمكن فى معظم الحالات (٩٨ ٪) منها الوصول بالفوسفور فى الصلب الى أقل من ٠٥ر٪ اذا كانت نسبته أصلا فى الحديد الزهر ٣٥ر٪ دون اعادة عملية النفخ ولا تتعدى نسبته النتروجين فى هذا الصلب ٠٠٤٦ر – ٠٠٩ ٪ ٠

وتستخدم هذه الطريقة من طرق النفخ بنجاح لنفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على التحاليل الآتية : –

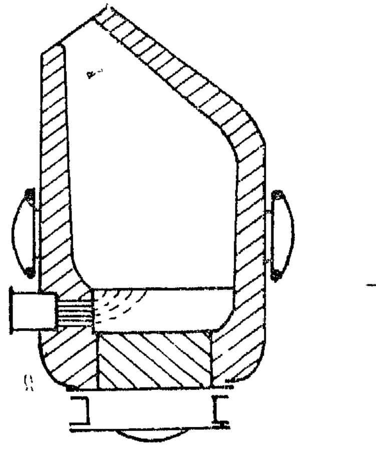
٠٩ر – ٢ر١ ٪ سليكونا ، ٣ر١ – ٢٪ منجنيزا ، ٢٥ر – ٢ر١٪ فوسفورا (وفى بعض الأحيان قد تصل نسبة الفوسفور الى ٨ر١٪) ٠

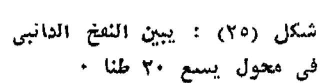
ويمكننا النزول بنسبة النتروجين فى المحول العادى بتنظيم فونيات دخول الهواء بكيفية خاصة وتشغيل هواء النفخ والمحول مائل ٠

ومثل هذا المحول موضح فى شكل (٢٥) وتبلغ قطر قصبات الهواء ٢٥ مليمترا وتنظم فى خمسة صفوف على جانب قاعدة المحول المقابل لامه المحول وتبلغ نسبة النتروجين بالصلب الناتج فى محول كهذا ٠٠٨ر٪ أما الحديد فتصل نسبته فى الخبث الى ٩٪ ويلاحظ شدة تناثر المقذوفات الحديديه خارج المحول وأثناء النفخ بالرغم من المميزات العديدة التى تنفرد بها هذه الطريقة فلا ندهش اذا لم يكن النجاح الكبير والانتشار الواسع من نصيبها اذ أننا اذا بحثنا عن عمر المحول وسعته وجدنا انخفاضا فيهما الى النصف ٠



شكل (٢٤) : يبين النفخ السطحى في المحول .





شكل (٢٥) : يبين النفخ الدانبى في محول يسع ٢٠ طنا .

استعمال خليط من الهواء وبخار الماء في نفخ محول توماس :

يزود هـــواء النفخ بالأكسجين عندما يستبدل جزء من الهـــواء ببخار الماء ويحتوى المتر المكعب من البخار على حوالى ٧ر كجم من الاكسجين بينما لا يحتوى المتر المكعب من الهواء على أكثر من ٣ر٠ كجم منه وبمعنى آخر فان بخار الماء يكون أغنى بالأكسجين من الهواء .

أثنـــاء النفخ يتحلل تمـــاما بخار الماء الموجـــود بالخبث ويستخدم الاكسجين الناتج عن هذا التحلل في أكسدة الكربون ولهذا نختزل الفترة الثانية من فترات النفخ ــ فترة نزع الكربون .

وبخار الماء ذو تأثير مبرد قوى وفعال فالحرارة المستنفزة لتحليل طن واحد منه تعادل الحرارة اللازمة لصهر الـ ٤ طن من الخردة . وتنخفض هذه الحرارة الى ما يعادل صهر ٣ طن من الخردة اذا ارتفعت درجة حرارة البخار الى ٣٠٠°م .

وكنوع من المقارنة يوضح جدول (١٣) الفرق بين الصلب الناتج بواسطة النفخ بالهواء والنفخ بخليط من الهواء وبخار الماء يزن المتر المكعب من البخار حوالى ٨ر كجم . ١٨ كجم من الماء تحتوى على ١٦ كجم من الأكسجين وعليه فان المتر المكعب من البخار يحتوى على $\frac{١٦ \times ٨ر}{١٨}$

= ٧ر كجم من الأكسجين .

جدول (١٣)

	النســبة المئوية للعناصر				
	ك	م	فو	كب	ن
النفخ بالهــواء	٠٧ر	٢٦ر	٠٥٩ر	٠٣ر	١٣ر
	٠٦ر	٣١ر	٠٥ر	٠٣٧ر	٠١٣ر
النفخ بخليط من الهواء	٠٥ر	٣٢ر	٠٣١ر	٠٢٩ر	٠٠٧ر
وبخــار المــاء	٠٥ر	٢٩ر	٠٣٨ر	٠٣١ر	٠٠٥ر
	٠٤ر	٣٢ر	٠٣٤ر	٠٣١ر	٠٠٧ر

وبمقارنة الطريقتين نجد أن نسبة الحديد فى الخبث الناتج بالطريقة الثانية تبلغ ١٠٪ مقابل ١٢٪ فى الطريقة الأولى .

وفى هذه الطريقة الثانية يصب الصلب الناتج عند درجة حراره أقل ١٥٤٠ — ١٥٦٠م مما يجعل من الصعوبة بمكان امكانية الصب القاعى . وتزداد كمية الفاقد من الصلب فيقل العائد فى بوادى الصب .

ويمتاز الصلب الناتج بهذه الطريقة بخواصه الميكانيكية التى تضارع الخواص الميكانيكية لصلب الأفران المفتوحة والتى لهـا نفس التركيب الكيميائى .

هذا ولم يلحظ أى تأثير ضار على خواص الصلب من جراء استعمال البخار الا أنها تقصر من عمر القواعد .

٩ — استعمال الأكسجين فى محولات توماس

باستخدام الاكسجين فى نفخ شحنة الحديد الزهر بمحول توماس يمكن من انتاج صلب يضاهى صلب الأفران المفتوحة من حيث انخفاض نسبة النتروجين والفوسفور به وأيضا من حيث الخواص الميكانيكية التى تتحكم فى عمليات التشغيل المختلفة .

واذا استغنينا عن كمية من الهواء بأخرى من الأكسجين أو اذا تم النفخ طيلة الوقت أو لجزء منه فقط باستخدام خليط من الأكسجين النقى وبخار الماء أو ثانى أكسيد الكربون أدى ذلك الى تحسن ملحوظ فى الموازنة الحرارية لانخفاض نسبة النتروجين فى الغـازات المتصاعدة من المحول والى قصر وقت النفخ وزيادة الكفاءة الانتاجية لاستغلال كمية أكبر من الخردة وخام الحديد .

ومن مزايا هذه الطريقة أنها تسهل ازالة الفوسفور وتقلل من نسبة النتروجين بالصلب لدرجة كبيرة حيث انه بارتفاع درجة الحرارة نتمكن من اضافة كمية مناسبة من خام الحديد والنفايات المعدنية كعوامل مبردة وقد يضاف الحجر الجيرى عوضا عن الجير ٠

هذه وتستخدم فى وقتنا الحاضر طرق النفخ الحديثة الآتية لتحويل الحديد الزهر التوماسى :

١ ـ النفخ بالهواء المزود بالأكسجين ٠

٢ ـ النفخ بخليط من الأكسجين والبخار ٠

٣ ـ النفخ بخليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون ٠

٤ ـ النفخ العلوى باستخدام الأكسجين الخالص ٠

النفخ بالهواء المزود بالأكسجين :

يحتوى الهواء على ٢١٪ منه أكسجينا ، ٧٩٪ نتروجينا فاذا زيدت نسبة الأكسجين فى الهواء الداخل الى ٢٠٪ أو أكثر انخفضت كمية النتروجين فى هواء النفخ وبالتالى تقل كمية الحرارة المفقودة التى يحملها النتروجين معه خارج المحول ٠

وقد تتملكنا الدهشة اذا علمنا أن الحرارة المفقودة بواسطة متر مكعب واحد من النتروجين تكفى لصهر ٤٥ر١ كجم من الخردة بينما باستخدام ١م٣ من الأكسجين فى النفخ نتمكن من صهر ٦ر٥ كجم من الخردة ٠

ومميزات هذه الطريقة متعددة ويمكن حصرها فيما يلى :

١ ـ بارتفاع درجة الحرارة يذوب الجير فى المعدن المنصهر ويتحد بالسليكا فى فترات النفخ الأولى التى تتم فى جو من الهدوء النسبى ويطول استخدام بطانة وقواعد المحول كما أن ارتفاع درجة الحرارة يسمح باضافة كميات أكبر من الخردة ٠

٢ ـ وبسبب الاتزان الحرارى عند درجة من الحرارة عالية فانه بارتفاع الأكسجين فى هواء النفخ الى ٣٠٪ نتمكن من نفخ الحديد الزهر مهما انخفضت نسبة الفوسفور به فمثلا ١٩ر١ ـ ٣٧ر١٪ فوسفورا ، ٢٤ر ـ ٤٧ر٪ سليكونا ، ٩ر ـ ١٤ر١ ٪ كما لا يكون لحرارته الطبيعية أى اعتبار فى هذه الحالة ٠

٣ ـ تزداد سعة المحول نتيجة لنقص مدة النفخ ٠

٤ ـ ترتفع الكفاءة الانتاجيـــة للصلب الجيد الناتج الى حوالى ٨٧ـ٨٨٪ (مقابل ٨٦٪ فى حالة استخدام الهواء فقط فى النفخ) وذلك بسبب انخفاض نسبة الحديد الضائع فى الخبث الى حوالى ١٢ ـ ١٣٪ (بدلا من ١٣ـ١٤٪ فى حالة النفخ دون استخدام الأكسجين) .

٥ ـ يساعد الارتفاع فى درجة الحرارة كثيرا على ازالة الكبريت .

٦ ـ يطـرأ تحسن ملحوظ على خواص الصلب الناتج لانخفاض نسبة النتروجين به واذا ضبطنا درجة الحرارة بنجاح أو بمعنى آخر اذا توقف تدفق الأكسجين عند الوقت المناسب أمكن النزول بنسبة النتروجين الى ١٠ر٪ (تتراوح النسبة بين ٠٠٨ر ـ ١٢ ٠ر ٪) .

ويمكننا تقليل نسبة النتروجين عن هذا الحد باضـافة النفايات المعدنية أو باستبدال جزء من الجير بجزء مناظر من الحجر الجيرى دون أن نخشى هبوط درجة الحرارة عن مستواها العادى فالأكسجين الموجود بهواء النفخ يقوم بتعويض الحرارة المفقودة .

وبتحليل الحجر الجيرى (كربونات الكالسيوم) ينبعث ثانى أكسيد الكربون الذى يتفكك بدوره الى أول أكسيد الكربون والأكسجين حيث يقوم الأكسجين بأكسدة الكربون ولهذا تنخفض كمية النتروجين فى هواء النفخ حيث يستعان بثانى أكسيد الكربون الناتج عن تحلل الحجر الجيرى بواسطة جزء من هواء النفخ وبالتبعية تقل مدة النفخ .

ومن الأهمية بمكان عدم استطاعة تطبيق هذه العملية فى حالة النفخ بالهواء فقط اذ أن عمليات التحلل الســابقة تحتـاج الى كميــة هائلة من الحرارة .

والتبريد الناجم عن استبدال ١ كجم من الجير يســاوى التبريد الناشىء عن اضافة ٩ر١ كجم من الخردة ولهذا السبب أصبح من الضرورى زيادة نســبة الأكسجين فى هواء النفخ حتى نحافظ على كمية الخـردة المضـافة .

ولخفض نسبة الفوسفور فى الصلب الناتج فى حالة النفخ بالهواء المزود بالأكسجين يزال فى بعض الأحيان الخبث الابتدائى ، (المتكون أولا) ثم يتكون خبث جديد وتضاف الصـــودا ثم يستمر النفخ لمدة وجيزة (حوالى ٢٥ ثانية) وحتى نتلافى التبريد الشديد نتيجة لاضافة وتحلل الصودا نرفق هذه الصودا باضافات أخرى كالسليكو كالسيوم مثـلا التى تمد المعدن بكمية وفيرة من الخردة عند تأكسـدها هذا الى جانب

ضبطها لقاعدية الخبث وذلك باتحاد السليكا المتكونة بأكسيد الكالسيوم، وقد يضبط الخبث باضافة الصودا فقط اذا سمحت الحرارة بذلك ٠

وتصل نسبة الفوسفور الى حوالى ٠٥٥ر٠٪ بالصلب قبل كشط الخبث الأصلى ثم تهبط هذه النسبة الى حوالى ٠٤٠ر٠٪ بعد النفخ فى وجود الخبث الصودوى ٠

ويحتوى الخبث الثانوى على حوالى ١٥٪ من الحديد وهى نسبة عالية نسبيا ولكن يمكن التغاضى عن كمية الحديد الضائعة فى الخبث لضآلة كميته ٠

وتحتل طريقة النفخ باستخدام الهواء المزود بالأكسجين المقام الأول فى وقتنا الحاضر للحصول على أجود أنواع الصلب فى محولات توماس وكقاعدة عامة فان نسبة الأكسجين فى الهواء المنفوخ تصل الى ٣٠٪ منه ٠

وجدول (١٤) الآتى يعطينا فكرة عن نسبة النتروجين ، والفوسفور ، والكبريت فى الصلب استنادا الى طريقة النفخ ونوع الاضافات ٠

جدول (١٤)

	ن ٢	فو	كب
النفخ بالهواء الجوى مع اضافة الخردة	٠٠٩ر–٠١٢ر	٠٤٥ر	٠٣٥ر
النفخ بالهواء المزود بالأكسجين لغاية ٣٠٪ مع اضافة الخردة ، والحديد أو الحجر الجيرى	٠٠٨ر	٤٥ر	٠٣٥ر
باستخدام الخبث الثانوى	٠٠٥ر	٠٢٥ر	٠٢٠ر
النفخ بخليط من الأكسجين والبخار	٠٠٢٥ر	٠٢٠ر	٢٠ر

طريقة النفخ بخليط من الأكسجين والبخار :

من الواضح أنه بتخفيض الضغط الجزئى للنتروجين فى الغازات داخل المحول الى أقل درجة ممكنة يقل ذوبانه فى الصلب ويمكن جعل ضغطه الجزئي صفرا بالتخلص منه نهائيا في هواء النفخ ولكن يجب أن

لايغيب عن خاطرنا استحالة النفخ بالأكسجين الخالص خلال قاع المحول لانه فى هذه الحالة يرتفع معدل استهلاك القاعدة وودنات الهواء ارتفاعا حادا ويرجع هذا الى الارتفـــاع الزائد فى درجة الحرارة عندما يندفع الأكسجين من فوهات النفخ الى المعدن ولهذا السبب يجب اضافة بعض الغازات الأخرى التى لا تحتوى على النتروجين الطبيعى ، وحديثا يستخدم البخار وثانى أكسيد الكربون كمبردات فى محولات توماس ٠

وعند استعمال مثل هذا الخليط من الغازات (أكسجين + بخار) فان حوالى ٣٠٪ من البخار يمر خـلال المعدن دون أن يتحلل ولايشترك بأى نصيب فى عملية النفخ (ولا يكون له أى دور يذكر فى هذه العملية) بيد أن ما يحمله من حرارة أثناء مغادرته المحول يعتبر الدور الوحيد الذى يقوم به اما ما تبقى من البخار (حوالى ٧٠٪ منه) فانه يتحلل الى عنصريه : الأكسجين والايدروجين مستهلكا لذلك طاقة حرارية هائلة ٠

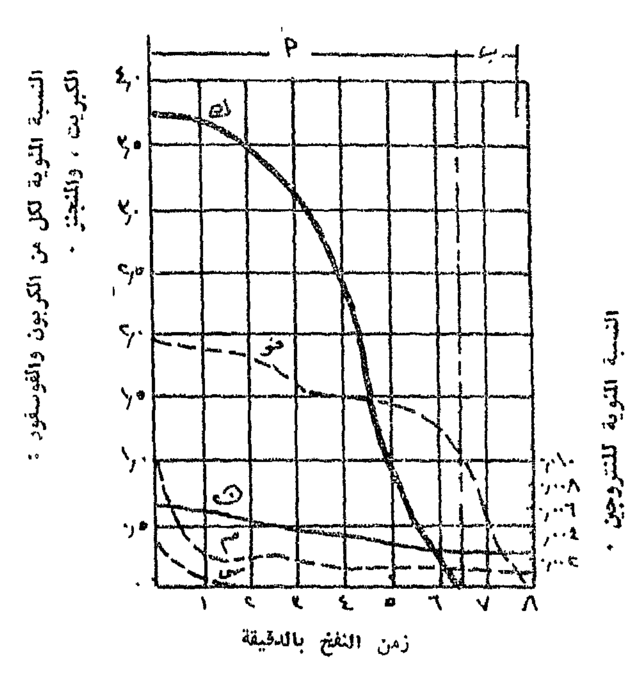
ولقد أثبتت الشواهد من وجهة النظر الحرارية أن ١ كجم من البخار تعـادل من حيث تأثيرها فى التبريد وزنـا من الخردة يقـدر بحوالى ٨ر٦ كجم ٠

وتتساوى حراريـا خليط يحتوى على ٦٠٪ منه أكسجينا والباقى بخارا ساخنا مع النفخ واستنتاجا لما سبق فانه كلما كانت نسبة البخار فى الخليط أقل كلما أمكن صهر كمية من الخردة أكبر ٠

وتعتمد درجة امتصاص الصلب للنتروجين على درجة نقاء الأكسجين ونادرا ماتزيد عن ٨ ــ ١٠٪ وعليه فان نسبة النتروجين بالصلب المصنوع بهذه الطريقة تتغير فيما بين ٠٠١٥ر ــ ٠٠٤ر٪ وبمعنى آخر فان هذه النسبة تكون أقل من تلك الموجودة فى حالة صلب الأفران المفتوحة ٠

ويبين شكل (٢٦) المغيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى للصلب أثناء نفخ الحديد بخليط من الأكسجين والبخار ٠

وقد وجد أنه أثناء فترة احتراق السليكون والمنجنيز تتم أيضـــا ازالة الفوسفور ولكن بدرجة أقل ٠ وينتهى احتراق الكربون بعد حوالى ٥ــ٦ دقائق وعندئذ تبـدأ عمليـة ازالة الفوسفور ويستمر النتروجين الذائب في الصلب فى الانخفاض طيلة فترة النفخ كلها ٠



شكل (٣٦) : الغيرات التى تطرأ على تركيب الحديد الزهر فى محول توماس أثناء النفخ بخليط من الأكسجين والبخار ٠

أ ــ اكسدة الكربون ب ــ اذالة الفوسفور

وباستعمال خليط من الأكسجين والبخـار فى النفخ مســاويا ٢ر١ : ١ر١ : ٤ر١ تتراوح نسبة النتروجين فى الصلب ٠٠٣ر٪ ٠

وفى هـذه الطـريقة تتم ازالة الفوسـفور بنجاح وسرعة عمـا اذا استخدمنا الهواء أو الهواء المزود بالاكسجين فى النفخ وتتغير مدة النفخ باختلاف كمية الأكسجين الداخلة الى المحول فى وحدة الزمن ٠

وبمقارنة الكفاءة الانتاجية لمحول سعة ١٦ طنا فى الطرق الثلاث نجد أن سعته فى حالة النفخ فى الهواء لاتزيد عن ١ر١ طنا / دقيقة بينما تصـل هذه السعة الى ٥ر١ طنا / دقيقة اذا كان النفخ بالهواء المزود بالأكسجين (استهلاك الأكسجين٢٧م٣/ طن) فى حين تبلغ ٩ر١ طنا / دقيقة اذا استعمل خليط الأكسجين والبخار فى النفخ ٠

ومن ناحية الخواص الميكانيكية للصلب الناتج فلا نضع فى حسابنا أى خوف من تأثير الهيدروجين الضار عليها ، فقد ثبت هذا عمليا بما لا يدع مكانا للشك ومما يشجع على اتباع هذه الطريقة ذلك الهواء الذى

يسيطر على التفاعلات طوال عملية النفخ فمهما ارتفعت نسبة السليكون فى الحديد الزهر فلن يزيد ذلك من المقذوفات المتناثرة خارج المحول ويرجع هذا الى الصغر النسبى فى حجم وسرعة الغازات المارة خلال شحنة الحديد بالمحول ·

كما يمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من السليكون دون اجراء عملية الازالة مقدما قبل النفخ ·

ويمكن تميز شعلة اللهب المتكونة فى حالة تطبيق هذه الطريقة عن تلك المتكونة فى الطريقة العادية باضاءتها الساطعة الناتجة عن احتراق الايدروجين واختفاء الأبخرة الداكنة المصاحبة لها ·

ولا تقل درجة حرارة الغازات المتصاعدة عن ١٣٠٠° م اذ تتراوح بين ١٢٠٠ ــ ١٥٠٠° م وتتساوى قوة تحمل البطانة باستخدام هذه الطريقة مع تلك التى يستخدم فيها خليط الهواء والأكسجين ويمكن اطالة عمر القواعد المصنوعة من الدولوميت بتركيب قصبات من النحاس ·

وبحساب الموازنة الحرارية بين كمية الحرارة المتولدة من احتراق الشوائب فى الحديد الزهر وكمية الحرارة المفقودة نجد أنه يكاد يكون مستحيلا استخدام الهواء فقط فى تحويل الحديد الزهر اذا كان منخفضا فى نسبة الفوسفور حتى يصل الى درجة الحرارة المناسبة لصب الصلب فى حين أنه لاتصادفنا أية صعوبة فى تحويل نفس الحديد الزهر اذا استعملنا خليطا من الأكسجين والبخار بل يمكننا تحويل الحديد الزهر الذى له نفس المواصفات للحديد المستخدم فى الأفران المفتوحة ·

ولقد ظلت تلك الدراسات مجرد أبحاث نظرية ثبت صحتها وتأكدت صلاحيتها حتى أتت الأبحاث العملية والتجارب الواقعية بالدليل القاطع وحسمت الموقف بما لايدع مجالا للشك ·

فلقد أصبح يقينا امكانية نفخ حديد زهر الأفران المفتوحة الذى يحتوى على ٧٨ر٠ ــ ١٤ر٪ فوسفورا ، ٧ر٠ ــ ١٪ سليكونا ، ٧ر ــ ١ر١٪ منجنيزا وتصل نسبة الكبريت به الى ٠٥ر٪ باستخدام خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ فى مصانع اناكيفو للحديد والصلب · ويصل استهلاك الجير الذى يحتوى على حوالى ١٥٪ من وزنه جيرا غير تام الاحتراق (حجر جيرى) الى ٣ ــ ٧ر٧٪ من وزن الحديد الزهر بينما يكون استخدام الأكسجين واقع ٦٥ ــ ٨٠م ٣/ دقيقة (٤٥ ــ ٦٠م ٣/ طن) ، ٣٠ ــ ٣٥كجم / دقيقة من بخار الماء أى أن كمية الأكسجين المنفرد تتراوح بين ٦٥ ــ ٨٠٪ وزنا ·

ويستحسن عند استخدام هذه الطريقة أن يبطن المحول بطوب الكرومنجنزيت ويلزم لنفخ شحنة من الحديد الزهر زنتها ٥ر١٣ ــ ٥ر١٤ طنا مدة تتراوح بين ٣٨ر٦ ــ ١٢ دقيقة وفى حوالى ٥٠٪ من هذه الحالات تقل مدة النفخ عن ٨ دقائق ٠

ومما هو جدير بالذكر أن معدل تحول الحديد الزهر الى صلب يرتفع نسبيا باستخدام هذه الطريقة اذ يصل الى ٢ر١ ــ ١ر٢ طنا/دقيقة ٠

واذا كان لنا أن نضع رقما عمليا لنسبة النتروجين الذائب فى الصلب المصنوع بهذه الطريقة فانه فى المتوسط لاتزيد هذه النسبة عن ٠٠٢١ر٪ اذ تتراوح بين ٠٠١ر ــ ٠٠٥ر٠٪ ويعتبر هذا الرقم قياسيا ومثل هذا الصلب يحتوى على ٠٢٨ر٪ من الأكسجين ٠

ويكون التركيب الكيميائى للخبث فى النهاية كما يأتى :

١١ ــ ٧١ر١٢٪ حأ ٠ ٧١ر٢ ــ ٧٨ر٥٪ ح٢أ٣ ، ٨٦ر٦ ــ ٠٤ر٨٪ مأ ، ٧ر١٣ ــ ٢٦ر١٩٪ سأ٢ ، ٩٨ر٣٢ ــ ٤٢٪ كا أ ، ٩٤ر ــ ١٩ر٢٪ فو٢ أ٥

أما تحليل الغازات (باستبعاد النتروجين) فيكون كالآتى :

٣٦ر٥٪ كأ٢ ، ٧٧٪ كأ ، ١ر٢٪ ك يد٤ ، ٣ر٣٪ أ٢ ٠ ٣ر١٢٪ يد٢

وباستخدام خليط من الأكسجين والبخار فى النفخ نحصل على الميزات الآتية :

١ ــ امكانية نفخ الحديد الزهر دون النظر الى نسبة الفوسفور به ٠

٢ ــ السعة الانتاجية للمحول تكون أكبر منها فى الطرق الأخرى ٠

٣ ــ تحتوى الغازات المتصاعدة على نسبة أقل من الأبخرة الداكنة ٠٠ ولذا فهى لاتحتاج لأجهزة خاصة لتنقيتها ٠

٤ ــ يضاهى الصلب المصنوع بهذه الطريقة صلب الأفران المفتوحة فى خواص ولاسيما فى قلة احتوائه على النتروجين ٠

أما عيوب هذه الطريقة فتنحصر فى ارتفاع نسبة الحديد الضائع فى الخبث كما أنه لايمكننا استغلال كمية كبيرة من الخردة هذا اذا قورنت بطريقة النفخ بالأكسجين الخالص من أعلى ٠

النفخ بخليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون :

يضاف غاز ثانى أكسيد الكربون كعامل مبرد اذ يتطلب تحلل الكيلوجرام الجزيئى منه كمية من الخردة تعادل ٦٦٥٦٠ سعرا حتى يتحلل الى أول أكسيد الكربون والأكسجين أى أنه لتحلل ١م٣ من ثانى أكسيد الكربون يلزم له كمية من الحرارة تساوى

$$\frac{٦٦٥٦٠}{٢٢٫٤} = ٣٠٠٠ \text{ سعرا}$$

حيث : ٢٢٫٤م٣ = حجم الكيلوجرام الجزيئى من ثانى أكسيد الكربون ٠

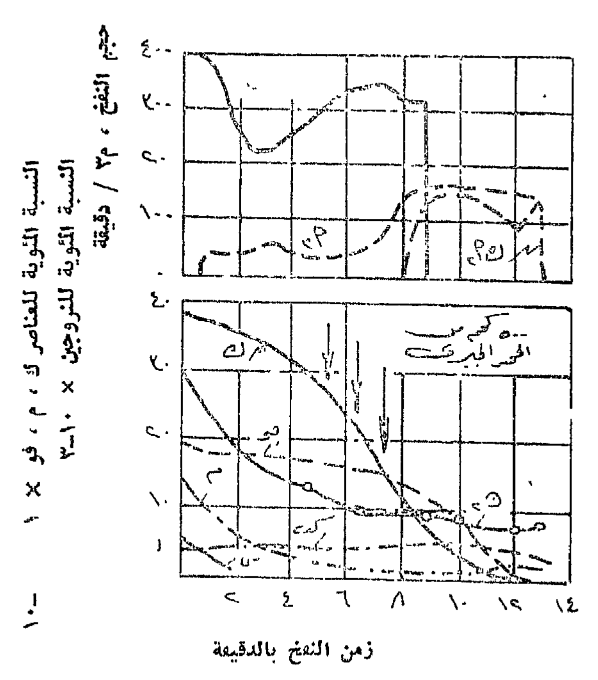
ولقد ثبت بالتجربة أن ٩٠٪ من ثانى أكسيد الكربون يتحلل باستعمال خليط منه والأكسجين فى النفخ ويفوق ثانى أكسيد الكربون البخار من ناحية التبريد وقد افترض أن ١م٣ من ثانى أكسيد الكربون يكافىء ٩٫٢٠ كجم من الخردة فى تأثيره المبرد ٠

وفى العادة يستعمل ذلك فى فترات النفخ الأولى ثم عند نهاية الفترة التى يتأكسد فيها الكربون يصير النفخ بخليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون ٠ ويمكن ضبط درجات الحرارة والسيطرة عليها بالتحكم فى كمية غاز ثانى أكسيد الكربون المندفعة الى المحول عند ثبوت معدل الأكسجين المنفوخ فى الخليط ٠

ويلاحظ أن شعلة اللهب عند فوهة المحول تكون ساطعة الاضاءة جدا لارتفاع نسبة غاز أول أكسيد الكربون اذ تبلغ نسبته فى الغازات المتصاعدة ٥٥٪ وتقل نسبة النتروجين فى الصلب الى ٠٫٠٠٣٪ ٠

ويبين شكل (٢٧) طريقة النفخ فى محول توماس باستخدام خليط من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون ٠ ويكون النفخ خلال ثمانى الدقائق الأولى بخليط من الهواء والأكسجين وبعد ذلك حتى النهاية يكون النفخ بخليط من الأكسجين ، ك أ٢ بنسبة ١ : ١ الى ١ : ١٫٤ ٠

وسوف نتناول بالشرح والتحليل فيما بعد طريقة النفخ بالأكسجين الخالص للحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور ٠



شكل (٢٧) : يوضح طريقة النفخ فى محول توماس باستخدام خليط من الأكسجين وثانى اكسيد الكربون ·

١٠ ـ خواص واستعمالات صلب توماس

أصبح ميدان استخدام صلب توماس الذى ينتج بالطرق العادية محدودا وبالرغم من هذا فانه من الممكن استخدامه بنجاح فى صـــناعة الأدوات الحديدية التى تتطلب لدونة عالية ومقاومة كبيرة للتآكل وقابلية كبيرة للتشغيل ·

ويمكن لحام هذا النوع من الصلب بواسطة اللحام التراكبى ولهذا فهو يستخدم بكثرة فى صـــناعة الشرائح اللازمة لصـــناعة الأنابيب الملحومة ·

ويستخدم هذا الصلب أيضا فى صناعة القطاعات الجانبية للمنشآت كما يستخدم فى صناعة الألواح والصفائح التى يجـــرى تشكيلها على البارد ، والقضبان ، والأسلاك وغيرها من المنتجات الأخرى ·

وباستخدام الأكسجين فى صناعة صلب توماس أصبح منافسا لصلب الأفران المفتوحة فى الخواص والجودة ويمكن استخدامه على نطاق واسع فى كثير من المجالات الصناعية فمثلا لا يختلف عن الصلب الفوار

المصنوع فى المحولات بنفخ الحديد الزهر بخليط من الهواء والأكسجين وبخار الماء فى جودته عن الصلب الفوار المصـــوع فى الأفران المفتوحة ولذلك فهو يستخدم فى صناعة الألواح والصفائح والألواح اللازمة لعمليات التشكيل المختلفه كالسدق والدرفلة الى سرائط سواء بطرق الدرفلة على الساخن أو على البارد ٠

كما يدخل فى عمل الأنابيب ــ والأسلاك والمسامير وغيرها ٠٠٠

وينفرد هذا النوع من الصلب ببعض المزايا فمثلا يمكننا سحب أعواد الصلب التى قطرها ٥ مم الى أسلاك رفيعة يبلغ قطرها ٣٠ر٠ ــ ١٩ر٠ مم دون حاجة الى اجراء عملية تلدين متوسطة بينما نضطر الى اجراء هذه العمليه اضطرارا عند استخدام صلب الأفران المفتوحة فى عمـــل هذه الأســلاك ٠

وتمتاز المنتجات المصنوعة من هذا النوع من الصلب بخلوها من أى شقوق أو عيوب متشابهة تحط من جودتها ٠

وباجراء اختبارات الثنى والقابلية للحام على هـــذا الصلب كانت النتائج طيبة ومرضيه وعلى وجه العموم فانه بتطبيق الطرق الحديثة فى صناعة صلب توماس تحسنت جودته بدرجـــة ملحوظة واتسع مجال استعماله فى حياتنا العمليه الى حد كبير ٠

١١ ــ الموازنة المادية والحرارية لشحنة توماس

أولا : الموازنة المادية

يوضح الجدول الآتى البيانات اللازمة لحساب الشحنة :

جدول (١٥)

	العنـــاصر ٪				
	ك	س	م	فو	كب
الحديد الزهر	٣٫٣٥	٣٠ر	١	٢	٧ ر
الصلب الناتج	٠٥ر	ــ	٢ر٠	٠٦ر٠	٠٥ر
كمية العناصر المؤكسدة	٣ ر٣	٣٠ر	٨ر	١٫٩٤	٠٢ر

هذا بفرض أن (١/٤) الكربون قد تحول الى ثانى أكســـيد الكربون والباقى (٣/٤ الكربون) قد تحول الى أول أكسيد الكربون ٠

٢ ـ الفاقد من الحديد ٢ ٪ ·

٣ ـ اشترك ٢ ٪ من وزن بطانة المحول لتكوين الخبث ·

٤ ـ التركيب الكيميائى للدولوميت :

مغ أ	كا أ	لو٢ أ٣	س أ٢
٣٦ر٥٪	٥٩٪	٢٪	٢ر٥٪

٥ ـ التركيب الكيميائى للجير الحى (أكسيد الكالسيوم)

ك أ٢	كا أ	لو٢ أ٣	س أ٢
٤٪	٩٣٪	١٪	٢٪

هذا مع العلم بأن الكبريت قد أزيل على شكل كبريتيد المنجنيز الذى يتحول الى كبريتيد الكالسيوم (حوالى ٠٢٪ من الكبريت قد أزيل) ·

اذا / كمية المنجنيز التى ترتبط بكمية الكبريت الموجودة لتكوين كبريتيد المنجنيز :

$$= \frac{٠٢ر٠ \times ٥٥}{٣٢} = ٠٣٤ر٠ ٪ \text{ من المنجنيز}$$

أما باقى المنجنيز الذى تأكسد = ٨ر - ٠٣٤ر = ٧٦٦ر ٪

ولسهولة العمليات الحسابيه نعتبر ١٠٠ كجم من الشحنة :

حساب الأكسجين اللازم لأكسدة الشوائب والأكاسيد الناتجه :

وزن الكربون الذى تأكسد الى ثانى أكسيد الكربون =
٢٥ر × ٣ر٣ = ٨٢٥ر كجم

وزن الكربون الذى يتأكسد الى أول أكسيد الكربون =
٧٥ر٠ × ٣ر٣ = ٤٧٥ر٢ كجم

والجدول الآتى يوضح كمية الأكسجين اللازمة لأكسدة الشوائب المختلفة :

جدول (١٦)

وزن الشوائب المطلوب ازالتها	المركبات	الأكسجين المطلوب / كجم	وزن الأكاسيد الناتجة كجم
ك ٨٢٥ر٠	ك أ ٢	٨٢٥ر × ٣٢ / ١٢ = ٢ر٢	٣ر٠٢٥
ك ٢ر٤٧٥	ك أ	٢ر٤٧٥ × ١٦ / ١٢ = ٣ر٣	٥ر٧٧٥
س ٣ر٠	س أ ٢	٣ر × ٣٢ / ٢٨ = ٠ر٣٤	٠ر٦٤٠
فو ١ر٩٤	فو٢ أ ٥	١ر٩٤ × ٨٠ / ٦٢ = ٢ر٥	٤ر٤٤٠
م ٧٦٦ر	م أ	٧٦٦ر × ١٦ / ٥٥ = ٠ر٢٢	٠ر٩٨٦
م ٠٣٤ر	م كب	—	٠ر٠٥٤
ح ٢ر٠٠	ح أ	٢ر٠ × ١٦ / ٥٦ = ٠ر٥٧	٢ر ٥٧
الفاقد أثناء النفخ = ٨ر٣٤		٩ر١٣	

ولتبسيط العمليات الحسابية التالية ، دعنا نتغاضى عن كمية الرطوبة الموجودة بهواء النفخ ، ولنفرض تركيب الهواء وزنا كالآتى : ـ

٢٣ر٢٪ أ ٢ ، ٧٦ر٨٪ ن ٢

اذا / كمية الهواء اللازمة لأكسدة الشوائب = $\frac{٩ر١٣}{ر٢٣٢}$ = ٣٩ر٣٥ كجم

وتساوى أيضا = $\frac{٣٩ر٣٥}{١ر٢٩}$ = ٣٠ر٥ م ٣

وذلك لكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر

اذا / نظريا يلزم لكل طن من الحديد الزهر ٣٠ر٥ م ٣ من الأكسجين

= ٣٠ر٥ × $\frac{١٠٠٠}{١٠٠}$ = ٣٠٥م٣

ومن الواضح أن كل ٣٩ر٣٥ كجم من الهواء تحتوى على ٩ر١٣ كجم أكسجينا ، ٣٠ر٢٢ كجم نيتروجينا فيمكننا حساب وزن الهواء النفخ كما يأتى : ـ

١ م ٣ من هواء النفخ يصبح محتويا على ٣٠٪ أ٢ ، ٧٠٪ ن ٢ ٠

ويصبح وزن الأكسجين = (٣٠ر × ١ر٤٣ر١ + ٧٠ × ١ر٢٥) = ١٣ر كجم

فى هذا الخليط = $\frac{٣٠ر \times ١ر٤٣}{١ر٣}$ × ١٠٠ = ٣٣٪

اذا / كمية الخليط من الهواء والأكسجين المطلوب =

$\frac{٩ر١٣}{ر٣٣}$ = ٢٧ر٧ كجم

$\frac{٢٧ر٧}{١ر٣}$ = ٢١ر٣ م٣

(= ٢١٣ م ٣ لكل طن من الحديد الزهر)

ويحتوى ٢٧ر٧ كجم من هواء النفخ المزود بالأكسجين على ٩ر١٣ كجم من الأكسجين ، ١٨ر٥٧ كجم من النتروجين أى أقل بكثير من حالة الهواء المنفوخ فقط ٠

وفى حالة النفخ بخليط من الأكسجين وبخار الماء يحتوى على ٦٠٪

وزنا من الأكسجين ذى نقاوة تصل الى ٩٢٪ ، ٤٠٪ بخار ماء فان ١ كجم من هذا الخليط تحتوى على : —

١ر٠ (٦٠ × ٩٢ + ٧ر × $\frac{١٦}{١٨}$) = ٨ر كجم أكسجين

وهذا بغرض أن ٧٠٪ من بخار الماء ينحلل الى عنصريه ٠

$\frac{١٨}{١٦}$ = نسبة وزن الأكسجين فى بخار الماء

وفى هذه الحالة تكون نتيجة التحليل ٠٣ر٠ كجم من الهيدروجين لكل كجم من الخليط ٠

اذا / وزن خليط الأكسجين وبخار الماء اللازم لتكوين ٣١ر٩ كجم من الأكسجين : —

= $\frac{١٣ر٩}{٨ر}$ = ٤ر١ كجم

ويكون فى النهاية لدينا التحليل الآتى :

١٣ر٩	كجم	أكسجينا
٣٧ر١	كجم	بخار ماء لم يتحلل
٣٤ر٠	كجم	هيدروجينا
٥٦ر٠	كجم	نتروجينا

ويبلغ وزن المتر المكعب من خليط الأكسجين وبخار الماء ١٢ر١ كجم ويمكن التوصل الى هذه النتيجة كما يلى : —

١٠٠ كجم من الخليط تشغل حجما قدره

$\frac{٢ر٥٥}{١ر٤٣}$ + $\frac{٨ر}{١ر٢٥}$ + $\frac{٤٠}{٨٠٤ر}$ = ٨٨ر٨٤ م٣

حيث :

١ر٤٣ = وزن ١ م٣ من الأكسجين
١ر٢٥ = وزن ١ م٣ من النتروجين
٨٠٤ر = وزن ١ م٣ من بخار الماء

اذا / كثافة الخليط = $\frac{٨٨ر٨٤}{١٠٠}$ = ١٢ر١ كجم / م٣

اذا / حجم الخليط المطلوب = $\frac{١١ر٤}{١ر١٢}$ = ٢ر١٠ م٣

أى أن ١٠٢ م٣ هو الحيز الذى يشغله ١ طن من الخليط

تعيين التركيب الكيميائى للخبث

يحتوى الخبث على ٢ ٪ سليكا ٠

نسبة أكسيد الكالسيوم اللازمة للاتحاد بالسليكا لتكوين المركب =
٢ كا أ ٠ س أ ٢

= ٠٢ر × (١١٢ / ٦٠) × ١٠٠ = ٣ر٧٤٪

نسبة كا أ المنفردة فى الجير = ٩٣ – ٣ر٧٤ = ٨٩ر٢٦ ٪

اذا / وزن أكسيد الكالسيوم اللازم للاتحاد بالسيلكا وخامس أكسيد الفوسفور اللازم أيضا لعملية ازالة الكبريت

اللازمة للاتحاد بالسيليكا لتكوين ٢ كا ا ٠ س أ ٢ =

(٦٤ر × ١١٢) / ٦٠ = ٢ر١ كجم

اللازمة للاتحاد بخامس أكسيد الفوسفور ٤ كا أ ، فو ٢ أ ٥ =

(٤ر٤٤ × ٢٢٤) / ١٤٢ = ٧ كجم

اللازمة للاتحـاد بالكبريت كا كب (٥٦ × ٠٢ر٠) / ٣٢ = ٠٣٥ر كجم

الوزن الكلى ٨ر٢٣٥ كجم

اذا / وزن الجير اللازم = ٨ر٢٣٥ / ٨٩٢٦ر = ٩ر٠٢٢ كجم

ولكن الجير يحتوى على شوائب أخرى يمكن حســاب أوزانها كما ياتى :

وزن السليكا = ٩ر٢٢ × ٠٢ر٠ = ١٨٤ر٠ كجم
وزن الألومينا = ٩ر٢٢ × ٠١ر٠ = ٠٩٢ر٠ كجم
وزن أكسيد الكالسيوم = ٩ر٢٢ × ٩٣ر = ٨ر٥٧٤ كجم

ويكون نصيب بطانة المحول فى الاشـــتراك فى انتاج مثل هذه الشوائب كالآتى :

وزن السليكا = ٠٢٥ر × ٢ = ٠٥ر٠ كجم
وزن الألومينا = ٠٢ر × ٢ = ٠٤ر٠ كجم
وزن أكسيد بكالسيوم = ٥٩ر × ٢ ١٨ر١ كجم
وزن الماغنسيوم = ٣٦٥ر × ٢ = ٧٣ر كجم

ويمكن تنسيق ما سبق فى جدول كالآتى :

جدول (١٧)

المكونات	وزن المكونات نتيجة أكسدة الشوائب	وزن المكونات من أكسيد الكالسيوم كجم	وزن المكونات من بطانة المحول / كجم	الوزن الكلي	النسبة المئويه
س أ ٢	٦٤ر	١٨٤ر	٠٥ر	٨٧٤ر	٤ر٥
لو ٢ أ ٣	—	٠٩٢ر	٠٤ر	١٣٢ر	٦٦ر
كا أ	—	٨ر٥٧٤	١ر١٨	٩ر٧٥٤	٥٠
مغ أ	—	—	٧٣ر	٧٣ ر	٣ر٧٤
فو ٢ أ ٥	٤ر٤٤	—	—	٤٤ ر٤	٢٢٧٥
م أ	٠ر٩٨٦	—	—	٩٨٦ر	٥ر٠٥
ح أ	٥٧ ر٢	—	—	٥٧ ر٢	١٣ر٢
كب	٠٢ ر٠	—	—	٠٢ ر٠	٠١ر
			المجموع الكلي	١٩ر٥٠٦	١٠٠٪

تركيب الغازات

هواء النفخ ك أ ٢ ٣ر٠٢٥ كجم

من الحجر الجيرى :

ك أ ٢ = ٠ر٠١ × ٩ر٢٢ × ٤ = ٠ر٣٧ كجم

ثانى أكسيد الكربون الكلى

= ٣ر٣٩٥ كجم = (٣ر٣٩٥ × ٢٢ر٤) / ٤٤ = ١ر٧٣ م٣ ٠٠٠٠ر٦٦ر٥ ٪

ك أ = ٥ر٧٧٥ كجم = (٥ر٧٧٥ × ٢٢ر٤) / ٢٨ = ٤ر٦٢ م٣ ١٤٠٠٠٠ر١٥ ٪

ن ٢ = ٣٠ر٢٢ كجم = (٣٠ر٢٢ × ٢٢ر٤) / ١٨ = ٢٤ر٢م٣ ٢٠٠٠٠ر٧٩ ٪

المجموع ٣٩ر٣٩ كجم ٣٠ر٥٥ م٣ ١٠٠٪

وعندما تكون درجة تزويد الهواء بالأكسجين مساوية ٣٠٪ يصبح تركيب الغازات كما يلى : ـ

ك أ ٢ = ٣ر٣٩٥ كجم = ١ر٧٣ م٣ ٢٠٠٠٠ر٨ ٪

ك أ = ٥ر٧٧٥ كجم = ٤ر٦٢ م٣ ٨٠٠٠٠ر٢١ ٪

ن ٢ = ١٨ر٥٧ كجم = ١٤ر٨ م٣ ٠٠٠٠٠ ٧٠ ٪

المجموع ٢٧ر٧٤ كجم ٢١ر١٥ م٣ ١٠٠٪

وفى حالة تزويد هواء النفخ بخليط من الأكسجين وبخار الماء يصبح تركيب الغازات الناتجة : ـ

ك أ٢ = ٣ر٣٩٥ كجم = ١ر٧٣ م٣ ١٤٪
ك أ = ٥ر٧٧٥ كجم = ٤ر٦٢ م٣ ٣٧ر٧٪
يد أ٢ = ١ر٣٧ كجم = ١ر٧ م٣ ١٣ر٨ ٪
يد ٢ = ٠ر٣٤ كجم = ٣ر٨ م٣ ٣٠ر٨٪
ن ٢ = ٠ر٥٦ كجم = ٠ر٤٥ م٣ ٣ر٧ ٪

المجموع ١١ر٤٤ كجم = ١٢ر٣ م٣ ١٠٠ ٪

ويمكننا وضع الموازنة المادية فى جدول للسهولة والتوضيح

جدول (١٨)

الشحنة				النواتج			
	هواء	هواء + أكسجين	هواء + أكسجين + بخار ماء		هواء	هواء + أكسجين	هواء + أكسجين + بخار ماء
حديد زهر	١٠٠	١٠٠	١٠٠	صلب	٩٠ر٦٦	٩٠ر٦٦	٩٠ر٦٦
هواء النفخ	٣٩ر٣٥	٢٧ر٧	١١ر٤	غازات	٣٩ر٣٩	٢٧ر٧٤	١١ر٤٤
الجير	٩ر٢٢	٩ر٢٢	٩ر٢٢	خبث	١٩ر٥١	١٩ر٥١	١٩ر٥١
البطانة	٢	٢	٢	المقذوفات الحديدية	١	١	١
				الفروق	٠ر٠١	٠ر٠١	٠ر٠١
	١٥٠ر٥٧	١٣٨ر٩٢	١٢٢ر٦٢		١٥٠ر٥٧	١٣٨ر٩٢	١٢٢ر٦٢

وقد وجد عمليا أنه أثناء صـــناعة الصلب يفقد منه ٨ر٣٤ كجم كمقذوفات حديدية ، ١ كجم كصـــلب ضائع فى الخبث اى أن الناتج = ١٠٠ – ٨ر٣٤ – ١ = ٦٦ر٩٠ كجم

ثانيا : الموازنة الحرارية

أولا الحرارة الداخلة الى المحول

١ ـ الحرارة المحتـــواة فى الحديد الزهـــر = ١٠٠ (١٧٨ر٠ × ١١٣٠ + ٥٢ + ٢٦ر٠ (١٢٣٠ – ١١٣٠)) = ٢٧ر٨٠٠ سعرا

حيث : ١١٣٠ = درجة انصهار الحديد الزهر القاعدة ٥ م

١٧٨ر٠ = السعة الحرارية للحديد الزهر قبل الانصهار سعرا / كجم ٥م ٠

٥٢ = الحرارة الكامنة اللازمة للانصهار سعرا / كجم

٢٦ر٠ = السعة الحرارية للحديد الزهر المنصهر سعرا / كجم٥م

١٢٣٠ = درجة حرارة الحديد الزهر المشحون بالمحول ٥ م

٢ ـ الحرارة المحتواة فى هواء النفخ :

(درجة حرارة هواء النح = ٥٠°م

= ٧ر٢٧ × ٢٣٣ر٠ × ٥٠ = ٣٢٢ سعرا

وعندما يكون النفخ بالهواء المزود بخليط من الأكسجين وبخار الماء عند درجة ١٨٠ ـ ٢٠٠ ٥م (الوزن الكلى للخليط ٤ر١١ كجم ، يحتوى على : ٦ر٠ × ٤ر١١ = ٨٤ر٦ كجم من الاكســجين ، ٥٦ر٤ كجم من الاكسجين تحتوى على ٩٢/ فقط من الاكسجين النقى = ٨٤ر٦ = ٨٤ر٦ × ٩٢ر = ٢٨ر٦ كجم اكسجينا ، ٥٦ ر كجم نتروجينا ٠

٥٦ر٤ كجم من بخار الماء يتحلل منهـــا ٧٠/ أى وزن بخار الماء المتحلل = ١٩ر٣ كجم وهذه الكمية تعطى مقدارا من الأكسجين يساوى :

$$\frac{١٩ر٣ \times ١٦}{١٨}$$ = ٨٥ر٢ كجم أ ٢ ، ٣٤ر٠ كجم من الايدروجين

ونتيجة لهذا تتكون عندنا الكمية المطلوبة من الأكسجين والتى تساوى ٢٨ر٦ + ٨٥ر٢ = ١٣ر٩ كجم أ٢

السعة الحرارية = ٢٠٠ (٢٨ر٦ × ٢٢٣ر٠ + ٥٦ر × ٢٤٩ر + ٥٦ر٤ × ٤٥٢ر = ٧٢٠ سعرا

حيث ٠٫٢٢٣ = السعة الحرارية للأكسجين عند ٢٠٠٠°م سعرا/ كجم °م

٠٫٢٤٩ = السعة الحرارية للنتروجين عند ٢٠٠ °م سعرا / كجم °م

٠٫٤٥٢ = السعة الحراريه لبخار الماء عند ٢٠٠ °م سعرا / كجم °م

٣ ـ الحرارة المتولدة من تأكسد الكربون الى أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكربون

= ٨٢٥ × ٨٫١٣٧ + ٢٫٤٧٥ × ٢٤٥٢ = ١٢٧٦٥ سعرا

٤ ـ الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبيث السليكون الى كا أ ٠س أ

= ٠٫٣ × ٧٫٤٢٨ = ٢٢٢٧ سعرا

٥ ـ الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبيث الفوسفور الى (كا أ) ٤ فو ٢ أ

= ١٫٩٤ × ٨٥٥٥ = ١٦٦٠٠ سعرا

٦ ـ الحرارة الناتجة عن أكسدة المنجنيز :

٠٫٧٦٦ × ١٧٥٨ = ١٣٤٧ سعرا

الحرارة الناتجة عن تأكسد الحديد

= ١١٩١ × ٢ = ٢٣٨٢ سعرا

ثانيا الحرارة الخارجة من المحول

١ ـ الحرارة المحتواة في الصلب

= ٩٠٫٦٦ (٠٫١٦٧ × ١٥٠٠ + ٦٥ + ٠٫٢ (١٦٥٠ − ١٥٠٠)

= ٣١٢٧٨ سعرا

حيث : ٠٫١٦٧ = السعة الحرارية للصلب قبل نقطة الانصهار سعرا / كجم °م

١٥٠٠ = نقطة انصهار الصلب °م

٦٥ = الحرارة الكامنة اللازمة للانصهار سعرا / كجم

٠٫٢ = السعة الحرارية للصلب المنصهر سعرا / كجم / °م

١٦٥٠ = درجة الحرارة للصلب الناتج °م

٢ ـ الحرارة المحتواة فى الخبث

= ١٩٫٥٠٦ × (٠٫٢٩٤ × ١٦٥٠ + ٥٠) = ١٠٤٥٠ سعرا

حيث ٠٫٢٩٤ = السعة الحرارية للخبث سعرا / كجم / °م

٥٠ = الحرارة الكامنة للانصهار سعر / كجم

٣ ـ كمية الحرارة التى تحملها الغازات المصاعدة من المحول عند ١٤٠٠ ٥م (النفخ بالهواء)

ك أ ٢ ٢ ١ر٧٣ × ٥٣٤ × ١٤٠٠ = ١٢٩٠ سعرا
ك أ ٢ ٤ر٦٢ × ٣٢٩ر × ١٤٠٠ = ٢١٣٠ سعرا
ن٢ ٢ر٢٤ × ٣٢٩ر × ١٤٠٠ = ١١١٤٧ سعرا

المجموع ١٤٥٦٧ سعرا

(النفخ بالهواء والأكسجين) :

ك أ ٢ ١٢٩٠ سعرا
ك أ ٢١٣٠ سعرا
ن ٢ ١٤ر٨ × ٣٢٩ × ١٤٠٠ = ٦٨٠٠ سعرا
ك أ ٢ ١٢٩٠ سعرا
ك أ ٢١٣٠ سعرا
ن ٢ ١٤ر٨ × ٣٢٩ × ١٤٠٠ = ٦٨٠٠ سعرا

المجموع ١٠٢٢٠سعرا

باستخدام خليط من الأكسجين والبخار مع الهواء :

ثانى أكسيد الكربون ١٢٩٠ سعر
أول أكسيد الكربون ٢١٣٠ سعر
ن٢ ٠ر٤٥ × ٣٢٩ × ١٤٠٠ = ٢٠٦
يد ٢ أ ١ر٧٠٠ × ٠ر٤٣٤ = ١ر٠٣٠ كالورى
يد ٢ ٣ر٨٠٠ × ١ر٤٠٠ = ١ر٧٥٠ كالورى

ويكون تحليل حرارة البخار : =
٢٨ر٩٥٠ × ٠ر٣٤ = ٩ر٨٤٠ كالورى

ويوضح جدول (١٩) الاتزان الحرارى وتكون الفواقد نتيجة الاشعاع وتحلل الجير تحت الاحتراق وبعض كميات معملية أخرى حتى ٥ ٪ ويستخدم لاختلاف لايجاد الحرارة الفائضة التى يمكن استخدامها فى صهر الخردة ٠

وتكون الفواقد الكبيرة مع غازات المحسولات الهساربة والموجودة مع الهواء اللافح ٠

ويكون التأثير الحرارى على الحمام نتيجة خليط من ٦٠٪ ـ ٩٠٪ أكسجين نقى ، ٤٠٪ أبخرة مختلفة ولكن قليلا من الهواء اللافح ـ وأقصى كمية من الخردة يمكن صهرها مع الهواء اللافح الفتى بالأكسجين لا تتعدى ٣٠ ٪

الحرارة الداخلة

جدول (١٩)

الاستهلاك	الهواء اللافح		الهواء اللافح الغنى بالأكسجين		بخار الماء والأكسجين فى الهواء اللافح	
	كالورى	٪	كالورى	٪	كالورى	٪
حرارة انصهار الحديد الزهر	٢٧ر٨٠٠	٤٣ر٧	٢٧ر٨٠٠	٤٣ر٩	٢٧ر٨٠٠	٣ر٦
حرارة الهواء اللافح	٤٥٨	٠ر٧	٣٢٢	٠ر٥	٧٢٠	١ر١
حرارة أكسدة الكربون	١٢ر٧٦٥	٢٠ر١	١٢ر٧٦٥	٢٠ر٢	١٢ر٧٦٥	٢٠ر٠
أكسدة وتجليخ السليكون	٢ر٢٢٧	٣ر٥	٢ر٢٢٧	٣ر٥	٢ر٢٢٧	٣ر٥
أكسدة وتجليخ الفوسفور	١٦ر٦٠٠	٢٦ر٢	١٦ر٦٠٠	٢٦ر٢	١٦ر٦٠٠	٢٦ر٢
أكسدة المنجنيز	١ر٣٤٧	٢ر١	١ر٣٤٧	٢ر١	١ر٣٤٧	٢ر١
أكسدة الحديد	٢ر٣٨٢	٣ر٧	٢ر٣٨٢	٣ر٦	٢ر٣٨٢	٣ر٧
	٦٣ر٥٧٩	١٠٠ر٠	٦٣ر٤٤٣	١٠٠ر٠	٦٣ر٨٤١	١٠٠ر٠

الحرارة المتصاعدة

جدول (١٩) ملحق

الاستهلاك	الهواء اللافح		الهواء اللافح الغنى بالأكسجين		بخار الماء والأكسجين فى الهواء اللافح	
	كالورى	٪	كالورى	٪	كالورى	٪
حرارة انصهار الصلب	٣١ر٢٧٨	٤٩ر٢	٣١ر٢٧٨	٤٩ر٤	٣١ر٢٧٨	٤٩ر٠
حرارة الخبث	١٠ر٤٥٠	١٦ر٤	١٠ر٤٥٠	١٦ر٥	١٠ر٤٥٠	١٦ر٤
حرارة الغازات	١٤ر٥٦٧	٢٢ر٩	١٠ر٢٢٠	١٦ر١	٦ر٤٠٦	١٠ر٠
تحلل بخار الماء	—	—	—	—	٩ر٨٤٠	١٥ر٤
الاشعاع والفواقد الحرارية الأخرى	٣ر١٧٩	٥ر٠	٣ر١٧٢	٥ر٠	٣ر١٩٢	٥ر٠
الحرارة الفائضة المستخدمة لصهر الخردة	٤ر١٠٥	٦ر٥	٨ر٣٢٣	١٣ر٠	٢ر٦٧٥	٤ر٢
	٦٣ر٥٧٩	١٠٠ر٠	٦٣ر٤٤٣	١٠٠ر٠	٦٣ر٨٤١	١٠٠ر٠

الطريقة العلوية للنفخ فى المحولات

مما لا شك فيه أن أ أهم ما يعيب صلب المحولات المصنوع بطريقه النفخ السلفيه بالهواء هو القصافة الزائدة خاصه عند درجات الحرارة المنخفضة .. كما أن مثل هذا الصلب يعطى ميلا واضحا لظاهرة الأزمان (الانخفاض فى تحمله للصدمات) أثناء فترة استخدامه وتشغيله وقابلية ضعيفة للحام بالكهرباء ٠

والسبب الرئيسى لظهور مثل هذه العيوب هو ارتفاع نسبة النتروجين والأكسجين والفوسفور وكثير من الشوائب غير المعدنية اذا قورن هذا الصلب بصلب الأفران المفتوحة ٠

والى جانب هذا فان محول بسمر ذا البطانة الحامضيه يمكن استخدامه لنفخ الحديد الزهر المحتوى على نسبة منخفضة من الكبريت والفسفور بينما يجب أن يحتوى الحديد الزهر التوماسى على نسبة عالية من الفوسفور ٠

وفى كلتا الطريقتين فانه يلزم لنا تركيب كيميائى خاص ومحدود للمواد الخام الأمر الذى يضع استغلال الخامات والمواد الأولية اللازمة لهذه الصناعة فى أضيق الحدود ٠

وباستخدام الأكسجين الخالص لنفخ الحديد الزهر من أعلى المحول أصبح فى الامكان الحصول على صلب يحتوى على نسبة منخفضة من النتروجين ، الأكسجين ، ويتم النفخ فى محول قاعدى البطانة ذى قاعدة صماء ٠

ولقد أصبح من المسلم به أن الصلب الناتج بهذه الطريقة لا يقل فى جودته بأى حال من الأحوال عن نظيره المصنوع فى الأفران المفتوحة ٠

١ ـ المبادىء الأساسية لطريقة النفخ العلوية

فى هذه الطريقة نصب شحنة الحديد الزهر فى محول ذى قاعدة صماء ثم تضاف كمية الجير اللازمة وخام الحديد بعد ذلك يوجه تيـار الأكسجين على سطح المعدن خلال ودنات تبرد بالماء (مائية التبريد) ذات فوهات نحاسية ٠

ويضبط وضع الفوهات على ارتفاع محدد من سطح المعدن ثم يسلط على المعدن تيار الاكسجين الذى تبلغ درجة نقائه أكثر من ٩٩٪ وتحت ضغط حوالى ١٠ ـ ١٤ ضغطا جويا (مقيسا بجهاز الضغط) ٠

وتتوقف كمية الاكسجين على شحنة الحديد بالمحول وأيضا على حجم وشكل الفوهات المستخدمة فمثلا لنفخ ٢٥ر٥ طنا من الحديد الزهر يوجه تيـار الأكسجين بمعدل ٦٥ ـ ٨٠م٣ فى الدقيقـة خلال فوهة دائرية قطرها ٤٢ مم ٠

واذا كان وزن الشحنة ٣٧ طنا كانت كمية الأكسجين المطلوبة بين ١٤٠ ـ ١٦٠ م ٣/دقيقة ٠

ويتغير معدل سريان الاكسجين تبعا لتغيير فترة وطبيعة الحرارة ٠

وفى خلال عملية النفخ يتخلل تيار الأكسجين طبقات المعدن وتتكون منطقة للتفاعلات (شكل ٢٨ ـ أ) حيث ترتفع درجة الحرارة فيها الى حوالى ٢٤٠٠° م وتتعرض جزئيات المعدن للأكسجين فى منطقة التفاعلات فتتأكسد مباشرة عن آخرها ويكون نتيجـة لتأكسد الحديد والشوائب الأخرى الموجودة بالحديد الزهر تكون : ح أ ، س أ ٢ ، م أ ، فو ٢ أ ٥ ، ك أ ولأكاسيد الحديد المتكونة قدرة كبيرة على الحركة بسرعة مما يساعد على اكسدة الشوائب الموجـودة فى المنـاطق الموجـودة بجانب منطقـة التفاعلات ٠

وباستمرار تدفق تيار الاكسجين وانبعاث كمية كبيرة من غاز أول أكسيد الكربون تتحرك أكاسيد الحديد بسرعة خلال المعدن ويؤدى هذا الى خلط كمية الشحنة وتجانسها جيدا ٠

واذا احتوى الحديد الزهر على ٣ر٥٪ كربونا يتصاعد ١ر٨٠ حجما من أول أكسيد الكربون عند ١٥٠٠° م لكل حجم من الأكسجين المنفوخ عند الصفر المئوى ٠

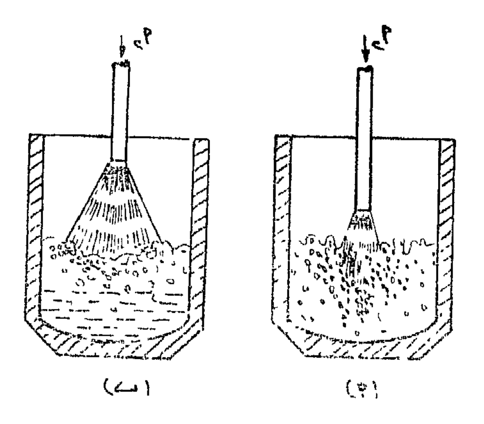
وفى طريقة النفخ العلوية تتأكسد الشوائب الموجودة بالحديد الزهر اما مباشرة بالأكسجين أو خلال الخبث ويمكن التحكم فى النسبة بين

الطريقتين (طريقة التأكسد المباشر وغير المباشر) بتغيير معدل سريان الاكسجين فكلما زاد سريان الاكسجين واقتربت ودنات النفخ من سطح المعدن زاد اختراق تيار الاكسجين لطبقاته وكانت التفاعلات التى تتم بالأكسدة المباشرة أكثر نشاطا • وعندما ينخفض معدل تدفق الاكسجين ونضبط ودنات النفخ عاليا فوق سطح المعدن تصبح منطقة التفاعلات ضحلة (شكل ٢٨) وتفاعلات الأكسدة عند السطح أكبر بسبب تشتت الأكسجين على مساحة كبيرة من سطح المعدن وفى هذه الحالة تزداد أكاسيد الحديد فى الخبث ويصبح الخبث عندئذ سببا لتفاعلات الأكسدة غير المباشرة •

وبضبط معدل تدفق الأكسجين وارتفاع ودنات النفخ يمكننا التحكم فى كمية أكاسيد الحديد بالخبث الذى يحتوى على أكسيد الحديدوز •

وتكوين خبث الجير الحديدى فى بادى العملية يساعد كثيرا على ازالة الفوسفور بغض النظر عن كمية الكربون الذى يحتويها المعدن وفى هذه الطريقة يتأكسد الفوسفور فى نفس الوقت الذى يتأكسد فيه الكربون •

ولما كان النفخ بالأكسجين الخالص فان غازات المحول المتصاعدة لا تحتوى بالمرة على أى نتروجين ولهذا السبب تقل كمية الحرارة المفقودة فى هذه الطريقة عن تلك المفقودة فى طريقة بسمر وتوماس وينتفع بكمية الحرارة الزائدة فى صهر كمية من الخردة أو اختزال مقدار من خام الحديد •



شكل (٢٨) : يبين منطقة التفاعلات فى حالة

ا ـ قصبة دفع الأكسجين فى وضع معتاد عن سطح المعدن

ب قصبة دفع الأكسجين فى وضع مرتفع عن سطح المعدن

كما سبق بمكنا نفخ الحديد الزهر الخالص بالأفران المفتوحة والبارد كيميائيا · وتقدم لنا طريقة النفخ العلوية للحديد الزهر بالأكسجين الخالص المزايا الآتية :

١ ـ بساطه التصميم فى صنع المحولات اذ اننا لسنا بحاجة الى قواعد قابله للفك والتركيب كما تدوم الودنات مائية التبريد التى تمد المحول بالأكسجين اللازم لفترة طويلة (أكثر من ١٠٠ صبة) ·

٢ ـ ازالة الفوسفور بنجاح مهما كانت كمية الكربون بالصلب ·

٣ ـ انخفاض نسبة النتروجين والأكسجين بالصلب الناتج ·

٤ ـ منافسة الصلب الناتج بهذه الطريقة صلب الأفران المفتوحة فى خواصه الميكانيكية وطرق تشغيله ·

٥ ـ زيادة الفرصة لصهر الانواع مختلفة من الخامات الأوليه االلازمة لصنع الحديد المطلوب ·

٦ ـ امكانية صهر الخردة واختزال كميه كبيرة من خام الحديد مما يؤدى الى رفع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج ·

٧ ـ رأس المال اللازم لصناعة هذه المحولات أقل من رأس المال المطلوب لصنع الأفران المفتوحة والتى لها نفس السعة الانتاجية للمحولات ·

٨ ـ كبر سعة المحول ·

ولا يعيب هذه الطريقة الا غزارة انبعاث الأبخرة الداكنة والتى تحمل معها الدقائق الصغيرة من الجير وخلافه ولهذا فانه من الواجب تشييد وحدة خاصة لتنقية هذه الغازات ·

٣ ـ تصميم المحول ذى النفخ العلوى

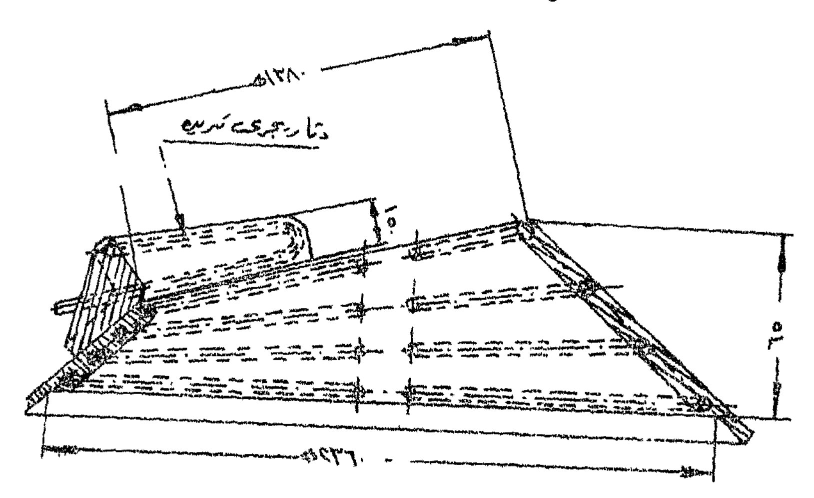
ومن ناحية التصميم لا يوجد هناك أى تباين بين هذا النوع من المحولات وبين محولات بسمر بيد أن هذا النوع لا يحتاج الى ودنات للنفخ ، أو الى صندوق الهواء اذا أن قاعدته صماء ·

ولسهولة عمليات الصيانة فانه فى العادة تصنع هذه القاعدة بحيث يمكن فصلها وتركيبها كيفما نشاء ·

فـــوهة المحـــول :

تشبه تماما فوهه المحول العادى أى قاعدى النفخ وتزاح قلـــلا بالنسبة الى محور المحول حتى يكون تفريغ (صب) المعدن اكثر يسرا وســـهولة ٠

وفى احدى الوحدات الصناعية للاتحاد السوفيتى تستخدم محولات ذات فوهات تحتوى على أنابيب بها مياه تبريد دورية ٠



شكل (٢٩) : استعمال المياه فى تبريد فوهة المحول ٠

وتمتاز مثل هـذه الفوهات بعدم تعرضها للتحـريف وباحتفاظها بأبعادها الأساسية خلال العمل كما يمكن تنظيفها بسهولة مما يعلق بها من بقايا المعدن والخبث (بير) ٠

لفوهة هذا النـوع من المحولات نفس الأبعاد التى لفوهة محـولات بسمر وتوماس ٠ ولأبعاد فوهة المحول تأثير كبير فى كمية النتروجين الممتص فى الصلب الناتج ٠ فاذا كان قطر الفوهه كبيرا أدى ذلك الى اتاحة الفرصة لاختلاط الهواء الجوى بالمعدن ويذوب كثير من النتروجين بالمعدن الذى يكون عند درجة حرارة عالية جدا ٠

ويقدر تماما حجم المقذوفات الحديدية التى يلفظها المحول خارجه ومنها تحدد الكفاية الانتاجية للصلب الناتج تبعا لاتساع فوهة المحول ٠

وقد لاحظ عمال المسبك فى احدى مصانع الصلب بهذه الطريقة أن أعلى كفاية انتاجية لمحول حجمه ١٦٫٥م٣ يسع ٢٠ طنا يمكن الحصول عليها اذا تراوح قطر فوهة المحول بين ١٣٠٠ ـ ١٦٠٠ مم ٠

وينفخ الأكسجين على الحديد الزهر بمعدل ٥٥ ـ ٦٠م٣ تكون كفاءته أعلى من الكفاية الانتاجية لنفس المحول اذا كان فطر فوهته ١٦٠٠ مم ٠

وفي المحول الأول الذى يبلغ فطر فوهته ١٣٠٠مم تراوح نسبة النتروجين في الصلب المنتج بين ٠٠٥ر ـ ٠٠٧ر٪ بينما تتراوح هذه النسبة بين ٠٠٦ر ـ ٠٠٩ر ٪ في المحول الذى يبلغ قطر فوهته ١٦٠٠ ميلليمتر ٠ وهذه النقطه لها أهميتها ٠

ويجب ان يوضع في الاعتبار عند تصميم المحول أن يكون شكل وأبعاد فوهة المحول مناسبة حتى نسمح لصب الحديد الزهر فيه بسهولة ويكون الفاقد منه أقل ما يمكن ٠

وفي العادة يصمم المحول المعد لنفخ الأكسجين والذى يسع ٢٤ ـ ٤٠ طنا بحيث يكون القطر الخارجي لفوهته بين ٥ر١ ـ ٨ر١ مترا ٠

وقد وجد أن أنسب طول للقطر الداخلي لفوهة محول من هذا النوع سعته ٦٠ طنا هو ١٥٠٠مم ٠

بطانة المحول وعمر مدة أدائها :

يمكن صنع طبقة البطانة التى تتعرض مباشرة للمعدن من طوب الدولوميت المخلوط بالقطران كمادة لاصقة أو من طوب المجنزيت القارى الذى لم يتعرض للحريق بعد ، أو من طوب المجنزيت العادى الذى تم حرقه كما يمكن استعمال الطوب عالى الجودة (ذى الأداء الممتاز) الذى له صمود كبير للحرارة وأنواع الطوب الحرارى الخاصة كالكرومجنزيت ٠

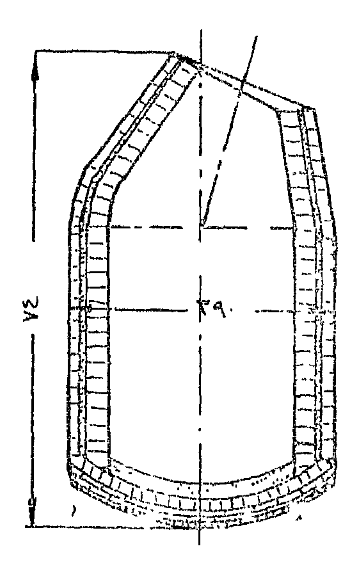
وهذه المواد الحرارية قد بحثت تفصيلا فيما سبق ٠

ومن المعقول جدا أن تكون بطانة المحول في وضع رأسى على طبقتين احداهما داخلية وملاصقة للمعدن والأخرى أساسية (طبقة واقية لهيكل المحول) ويملأ الفراغ بين الطبقتين دكا بطبقة من الدولوميت أو خليط من المجنزيت والقار ٠

وبهذه الطريقة نتعرض الطبقة من الدولوميت الداخلية والمواجهة للمعدن للتآكل وربما تستهلك عن آخرها دون أن تتعرض باقى البطانة للتآكل فتزداد مدة أدائها وفي المحولات صغيرة الحجم قد نستخدم أحيانا طبقة مفردة في التبطين ولكنها لا تترك حتى تستهلك عن آخرها خوفا على هيكل المحول ٠

وهذا يعجل بنهاية المواد الحرارية المستخدمة ، وفى بعض الأحيان ، يبطن المحول فى المنطقة التى يبلغ التآكل فيها قيمة العظمى بطوب المجنزيت ذى الأداء الممتاز والذى له درجة صمود عالية أمام الحرارة بينما يبطن باقى المحول بطوب المنجنزيت العادى ٠

ويبلغ سمك الطبقة المعرضة للمعدن فى البطانة المزدوجة (ذات الطبقتين) لمحول سعته ٣٠ ــ ٤٥ طنا ــ ٤٠٠ مم ٠ وعادة يكون سمك الطبقة الأساسية ٢٥٠ مم أى أن السمك الكلى للطبقتين معا حوالى ٦٠٠ ــ ٦٥٠ مم ٠



شكل (٣٠) : محول اكسجين النفخ

ويبلغ السمك الكلى للبطانة المزدوجة لمحول يسع ٦٧ طنا (٥٤ـ٨١) ٩٦٥مم وتعمل الطبقة الأساسية لبطانة المحول من طوب المجننزيت كما تصنع الطبقة المعرضة للتفاعلات المختلفة فى المعدن المنصهر من طوب الدولوميت المقطرن ٠

ويتأثر عمر البطانة بالعوامل المختلفة الآتية :

١ ــ نوع الحراريات المستخدمة فى صنع البطانة ٠
٢ ــ نوع طوب الحراريات ٠
٣ ــ الحجم النوعى للمحول ٠
٤ ــ قطر المحول ٠

٥ ــ طريقة التشغيل ودرجه الحرارة عند النفخ ، ومعــدل تكون الخبث . وضغط الأكسجين ومعدل استهلاكه ، وارتفاع قصبات النفخ فوق سطح المعدن ، كمية السليكون بالحديد الزهر .. الخ ...

٦ ــ محاذاة محور الودنات مع المحور الهندسي الرأسي للمحول .

ولقد اجريت أبحاث واسعه لاختيار عمر بطانة (طبقة البطانه) المعرضه للتشغيل لمحولات ٣٠ ــ ٤٠ طنا وكانت هذه الطبقه من البطانة مصنوعة من الدولوميت المفطرن وطوب المجنزيت المفطرن وكانت لهذه الابحاث اهمية بالغه اذ ثبت ان هذه الطبقه يمكنها الصمود حتى ٣٥٠ صبه بينما في حالة المحولات سعه ٤٥ طنا والمصنوعه من طوب المجنزيت العادى فانها تتداعى بعد ٢٠٠ صبة في حين انه في المحولات ٣٠ ــ ٣٥ طنا والمبطنة بطوب المجنزيت الخاص ذي الكثافة العالية والذى له مقاومة شديدة للصدمات الحراريه ودرجة التفكك الديناميكي له أعلى من ١٨٠٠°م فان هذا النوع من البطانة يصمد حتى عمر ٥٠٠ صبة .

وتستمر الطبقة الأساسية المبطانه في جميع المحولات ذات البطانه المزدوجــة لعدة مرات تغيير البطانه الداخلية ، طــوب الكرومجنزيت المزدوجة لعدة مرات تغيير البطانة الداخلية . ويستخدمطوب الكرومجنزيت لصناعة البطانة المفردة في المحولات التى تسع ٢٥٫٥ طنا ويكون سمكها ٣٨٠مم وتكفى لتحويل ١٨٠ شحنة من الحديد الزهر على مدى البطانة الواحــــدة .

ويتدخل عدد من المؤثرات الطبيعية والكيميائية لوضع النهاية لعمر البطانة وأهم هذه العوامل هى :

١ ــ الفعل (التأثير) الميكانيكى لحركة المعدن المنصهر .

٢ ــ التأثير المباشر للارتفاع الشــديد فى درجة الحــرارة بسبب تيار الأكسجين .

٣ ــ تشبع ســطح البطــانة الحرارية الملاصقة للمعــدن المنصــهر بأكاسيد الحديد .

٤ ــ التأثير السيىء للسليكا المتكونة خلال فترة النفخ الأولى حيث يكون ذوبان الجير جزئيا فى المعدن .

ومما يزيد من خطورة هــذه المؤثرات ارتفاع درجة حــرارة المعدن المنصهر الى أكثر من ١٦٥°م .

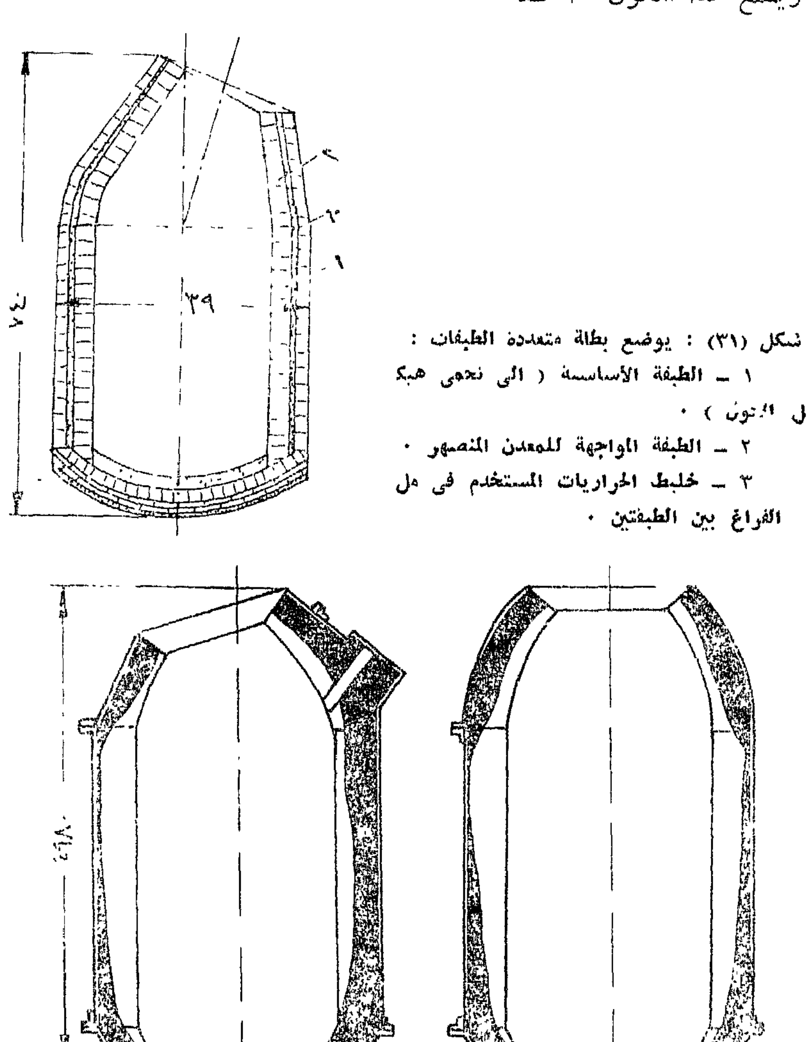
ولهذا السبب فانه باجراء عملية تبريد مناسبة يطول عمر البطانة ولا تستهلك الا بعد عدد أكبر من الصبات .

وبزيادة كل من الحجم النوعى وقطر المحول يكون هذا عاملا هاما على

حمض تأثير تيار الأكسجين على سطح الحراريات المبطنه للمحول والحد من تلفها واستهلاكها ٠

وبضبط ودنة النفخ على المحور الهندسى للمحول بالاستعانة بجهاز ضبط خاص يصبح تيار الأكسجين متساويا مع البعد تماما عن جدران المحـــول ٠

يبين شكل (٣١) رسم توضيحى لبطانة محول متعددة الطبقات ، ويسع هذا المحول ٢٠ طنا ٠



شكل (٣١) : يوضح بطانة متعددة الطبقات :
١ ـ الطبقة الأساسية (التى تحمى هيكل البتون) ٠
٢ ـ الطبقة المواجهة للمعدن المنصهر ٠
٣ ـ خليط الحراريات المستخدم فى مل الفراغ بين الطبقتين ٠

شكل (٣٢) : يبين شكل النحات (التآكل) فى حراريات بطانة المحول عند نهاية مدة أدائها ٠

ويوضح سكل (٣٢) منظرا لشكل التآكل النمطى فى هذا المحول ، ويلاحظ من الشكل شدة تعرض الأجزاء العليا من البطانة للتآكل فى الوقت الذى نتآكل فيه القواعد بدرجة غير ملحوظة ٠

وكما أن اى خطأ فى تسخين المحول بعد ترميمه قد يؤثر تأثيرا سيئا على عمر البطانة ، فان الارتفاع المفاجىء فى درجة الحرارة يؤدى الى تقشر حرارياتها ٠

وبالعكس فان التسخين الهين له تأثير سىء على القار الذى يعمل كمادة لاصقة اذ يعمل على دفعه خارج البطانة مما يتلفها ويفسد خواصها ٠

ولمحول سعته ٢٥ ـ ٣٥ طنا تستغرق مدة تجفيفه ثم تسخينه حتى ٨٢٠٠ م٥ ٠ حوالى ١٢ ساعة ويمكن اطالة عمر البطانة بعمل الترميمات والبطانة ساخنة ٠

ولهذا الغرض يدار المحول بطريقة ما حتى يصبح المكان المراد ترميمه الى أسفل وبعد صب الصلب يتبقى بعض الخبث السائل الذى يتجمع فى المكان المصاب من البطانة وعندئذ يلقى بعض الطوب الحرارى المجروش الى الخبث ثم يسلط مشعل الغاز على المكان المصاب ٠

ويمكن أيضا ترميم الأماكن الضعيفة بواسطة خلطة من الحراريات المجروشة المضاف اليها القار كمادة لاصقة ٠

ويستهلك انتاج الطن من الصلب حوالى ٩ ـ ١٠ كجم من الحراريات اذا كانت طبقة البطانة المعرضة للمعدن من الدولوميت المقطرن وطوب المجنزيت ٠

ويقل كثيرا الاستهلاك للحراريات اذا استخدمنا أنواعا خاصة من طوب المجنزيت ذى الجودة العالية لصناعة البطانة المزدوجة فينخفض الاستهلاك الى ٥ ـ ٧ كجم لكل طن من الصلب ٠

(تتطلب الأفران المفتوحة ١٨ كجم من الطوب الحرارى للبطانة ، ٢٠ كجم من الدولوميت لاصلاح الترميمات المختلفة أى يستهلك ٣٨ كجم منها لكل طن من الصلب الناتج) ٠

الأبعاد الأساسية عند تصميم المحول :

يعطى جدول (٢٠) الأبعاد الأساسية الرئيسية للمحولات علوية النفخ والتى تستخدم فى الاتحاد السوفيتى وغيره من البلدان الأخرى ٠

جدول (٢٠)

	الاتحاد السوفيتى وحدة أ	الاتحاد السوفيتى وحدة ب	النمسا لينز	النمسا دونويتز	ولايات متحدة أمريكية	كنـدا
شحنة المحول بالطن	٢٦ر٥	٣٧	٣٠	٣٣	٤٤	٤٠
حجم المحول م٣	٢٠	٥٢	٣٠	٣٢	–	٢٢ر٥
نسبة حجم المحول الى وزن شحنته م٣ طن	٧٦ر	١ر٤	١ر٠	٩٧ر	..	٨١ر
ارتفاع المحول م	٥ر٧٢	٦ر٨٧٥	٧ر٤	٦ر٧٥	-	٧ر٦
القطر الخارجى للمحول م	٣ر٥	٤ر٣٤	٣ر٩	٤ر٢	–	٤ر٣
القطر الداخلى للمحول م	٢ر٥٤	٣ر٤٥	٢ر٧	٣	٦ر٧	٣ر٠
القطـــر الخارجى لفوهــة المحول م	١ر٤٧	٢ر٤٤	–	١ر٨٣٥	٣ر٩٥	١ر٥

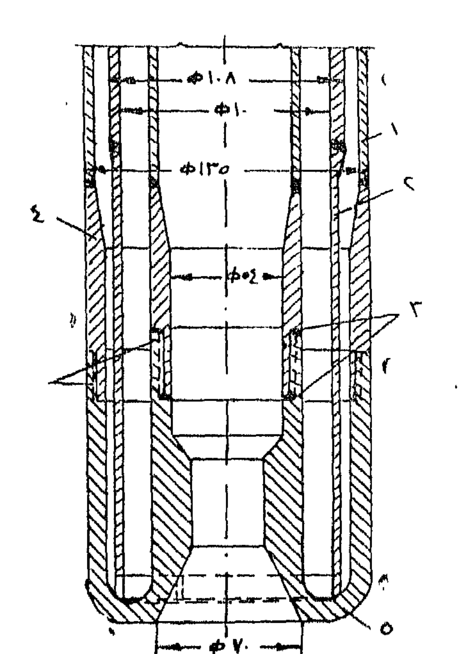
وعند نهاية البطانة يزداد حجم المحول فى وحدة تشغيل المحولات من ٣٢٫٥م٣ الى ٤٧م٣ وتبعا لذلك يمكننا زيادة مقدار الشحنة المضافة ٠ ويبلغ عمق المعدن المنصهر داخل المحول لشحنة تزيد عن ٣٠ طنا مترا واحدا وكلما تآكلت البطانة أكثر كلما انخفض هذا العمق الى ٠٫٧٥ـ٠٫٨مترا (لنفس الشحنة) ٠

ويمكن اطالة عمر بطانة المحول وكفاءته الانتاجية اذا احتفظ حجمه النوعى بالقيمة ١ـ١٫١م٣ لكل طن من الشحنة وتتأثر لدرجة كبيرة كمية المقذوفات الحديدية بارتفاع المحول فبزيادة ارتفاعه يقل تناثر هذه هذه المقذوفات خارج المحول ويبقى الكثير منها داخله دون أن تبلى فوهته مما يقلل من كمية الفاقد من الصلب فيزداد انتاجه ٠

٣ ـ جهاز تمويل الأكسجين

تستخدم الانابيب المبرشمه (غير الملحومه) فى صناعة ودبات (قصبات) تمويل الأكسجين الى داخل المحول ويستخدم لهذا الغرض ثلاث أنابيب متحدة المركز داخل بعضها البعض وتقوم الأنبوبة الوسطى بتغذيه المعدن بالاكسجين بينما تشتغل الانبوبتان الأخرتان فى التبريد ٠

وللأنبوبة رأس نحاسية تدمج بها اما بالقلوظة أو باللحام كما فى شكل (٣٣) وتأخذ الانبوبة وضعا راسيا بحيث ينطبق محورها على المحور الهندسى للمحول تماما ٠



شكل (٣٣) : قصبة تدفق الأكسجين ، تبريد بالماء

١ ـ الأنبوبة الخارجية
٢ ـ انبوبة الفصل
٣ ـ فواصل من الرصاص
٤ ـ وليمة معدنية
٥ ـ لقمة نحاسية

ويتحدد طولها تبعا لارتفاع المحول ومستوى شحنة المعدن داخله ويجب أن تكون ابعادها وشكلها بحيث تسمح لها بالحركة الحرة ارتفاعا وانخفاضا فنتمكن من خفضها حتى ١٥٠ ـ ٢٠٠ مم فوق السطح الخالص للمعدن كما تمكن من رفعها نهائيا بعيدا عن المحول حتى تمكن من امالته بسهولة . وتبلغ أنابيب الأكسجين هذه من ٧ ـ ٩ مترا طولا وهى على شكل الحرف U ويصبح طولها عندما تبعد جانبا بعد رفعها من المحول حوالى ٣ ـ ٤ مترا (كما فى شكل ٣٤) .

ويستعان بمجموعة من البكرات تشغل من حجرة المراقبة لرفع وخفض أنبوبة تمويل الأكسجين ويدفع الاكسجين الى القصبات عن طريق خراطيم متينة ومعزولة من الخارج بطبقة من الاسبستوس ويتحدد سلفا أبعاد فوهة أنبوبة تمويل الأكسجين وشكلها بمعلومية كمية الأكسجين التى تمر خلالها وظروف التشغيل الخاصة .

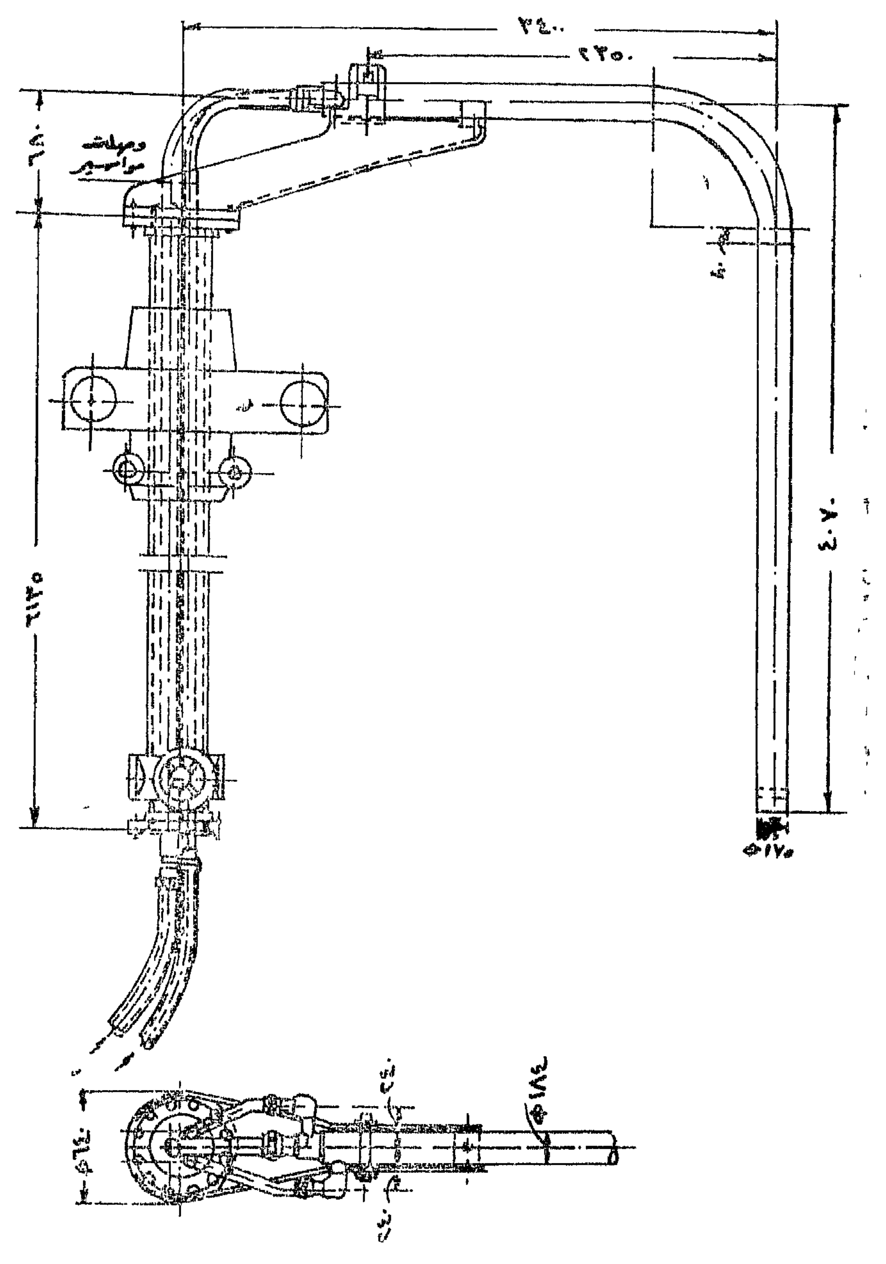
وتلزم كمية من الماء تقدر بحوالى ٨ ـ ١٠ لتر فى الثانية لأغراض التبريد اللازمة لأنبوبة تمويل الأكسجين والتى يبلغ قطرها الخارجى ١٠٨ مم (لمحول سعة ١٠ طن وحجمه ٨م ٣) .

وترتفع هذه الكمية من مياه التبريد الى ١٢ ـ ١٤ لترا ثانية اذا كان القطر الخارجى لأنبوبة المد بالأكسجين ١٣٥ مم (وتستخدم فى المحولات سعة ١٣ ـ ١٦ طنا ذات الحجم ١٢ر٠م ٣) .

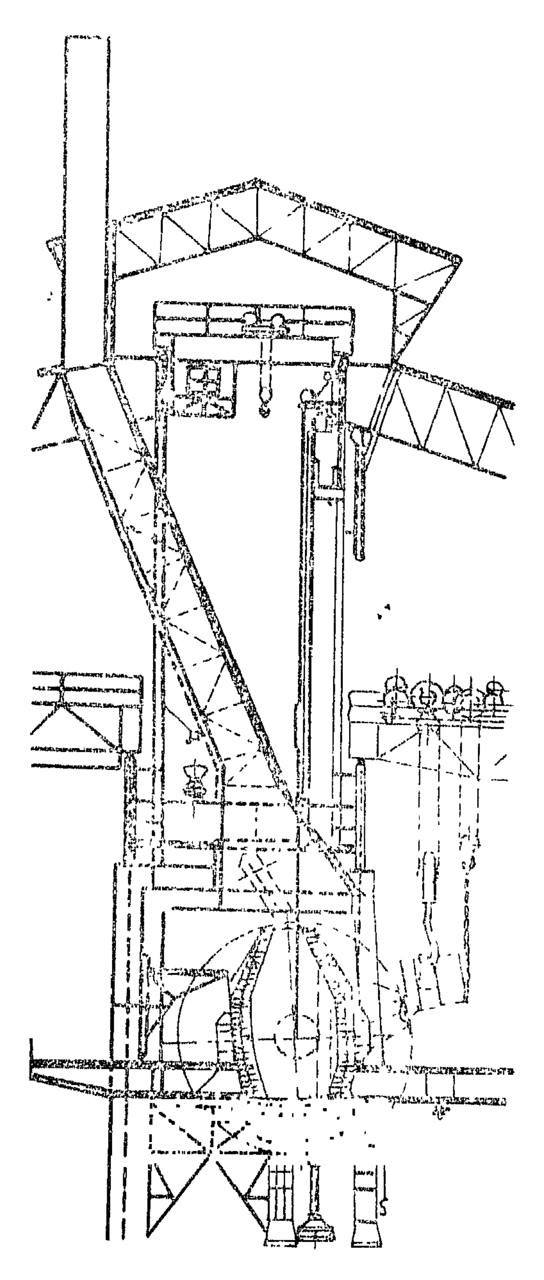
واذا كانت الأنبوبة مستدقة وطولها ٢ر٣ م ، وقطرها عند نهايتها العليا ١٩٤م ، وقطرها على نهايتها السفلى ١٧٥ مم (وتستعمل لمحول سعة ٢٦ر٥ طنا وحجمه ٢٠م ٣) كانت كمية المياه اللازمة للتبريد بين ١١ ـ ١٢ر٠ لترا / ثانية .

وتدفع هذه المياه بواسطة مضخات خاصة تحت ضغط يعادل ٦ ـ ٨ ضغطا جويا ، ويجب ألا تزيد درجة حرارة هذه المياه عند مغادرتها أنبوبة الأكسجين عن ٤٠ درجة مئوية . ويتم تغيير الرأس النحاسية للأنبوبة بعد ١٠٠٠ (ألف صبة) .

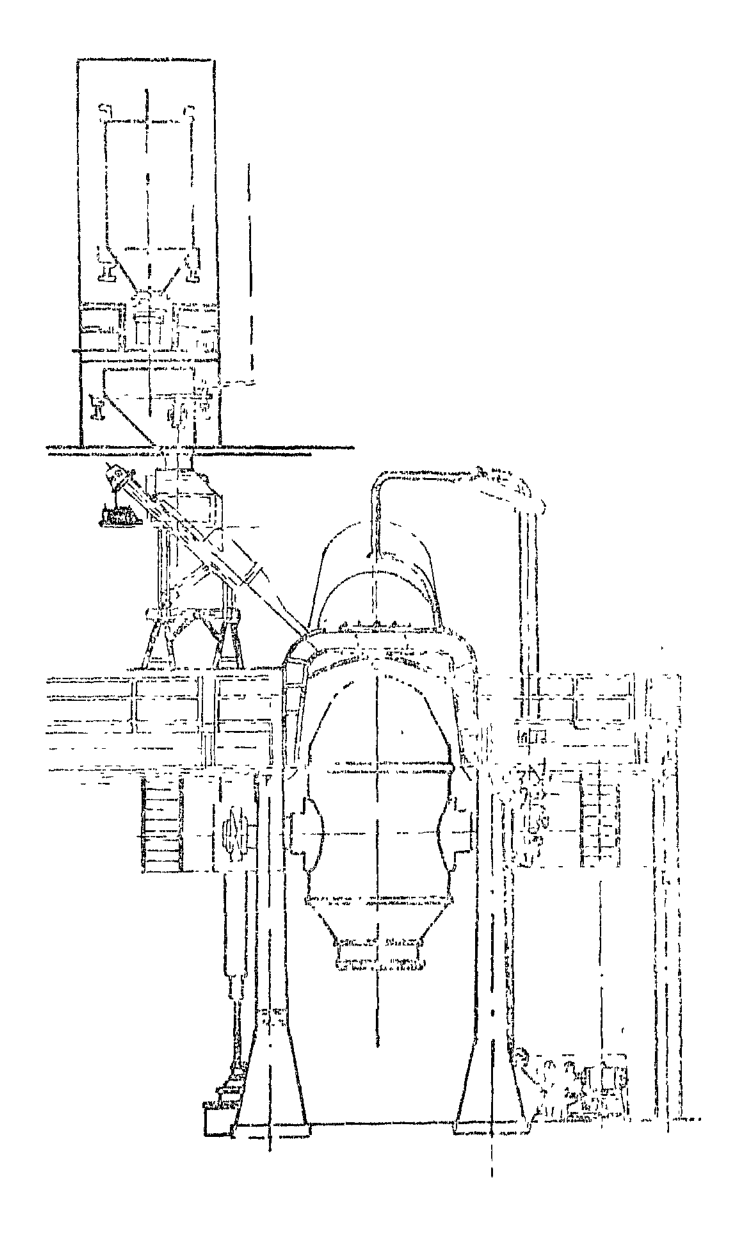
ونرى فى شكل (٣٥) منظرا عاما لمحول من هذا النوع وأنبوبة تمويل بالأكسجين رأسية وفى شكل (٣٦) منظرا لمحول ذى أنبوبة على شكل حرف U .



شكل (٣٤) : قصبة على شكل حرف U تبرد بواسطة المياه ٠



شكل (٣٥) : منظر عام لمصنع صلب به محول بقصبة راسية

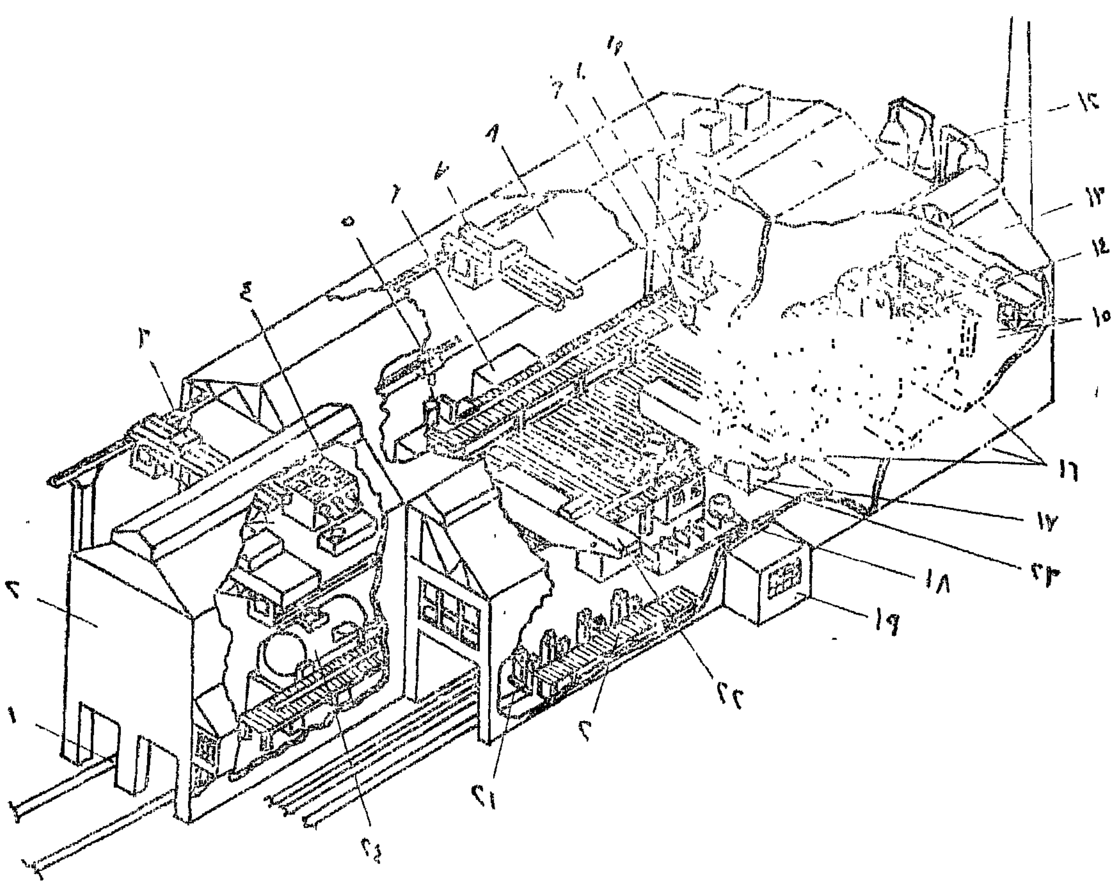


شكل (٣٦) : يبين منظرا عاما به قصبة على شكل حرف U

٤ ـ تصريف الشحنة

من الأمور التى تحتل المرتبة الأولى من حيث الأهمية أنه يجب وضع الشحنة بالمحصول بطريقة تكفل اضافة المواد الأخرى دون أن يكون هناك أى تأخير فى ذلك سواء كانت اضافتها قبل اجراء عملية النفخ أو أثنائها ٠

ويجدر بنا أن نأخذ فى الاعتبار زيادة كمية خام الحديد والمواد الصهارة عنها فى الطرق لأخرى فى تشغيل المحولات وتكون الاضافات للخام بواقع ٥ـ٨٪ لكل طن من الصلب الناتج ، والجير بواقع ٧ـ٩٪ والبوكسييت ٥ر٠ـ١٪ وفى بعض الأحيان يضاف بعض الفلوريت (الفلورسبار) لتسهيل ذوبان الجير ٠ ونرى فى شكل (٣٧) رسما لأحد مصانع الصلب به ثلاثة محولات سعة كل منها ٥ر٢٦ طنا وتجرى عملية شحنها على النحو التالى ٠



شكل (٣٧) : رسم تخطيطى لقسم المحولات يضم ٣ محولات سعة كل منها ٥ر٢٦ طنا ٠

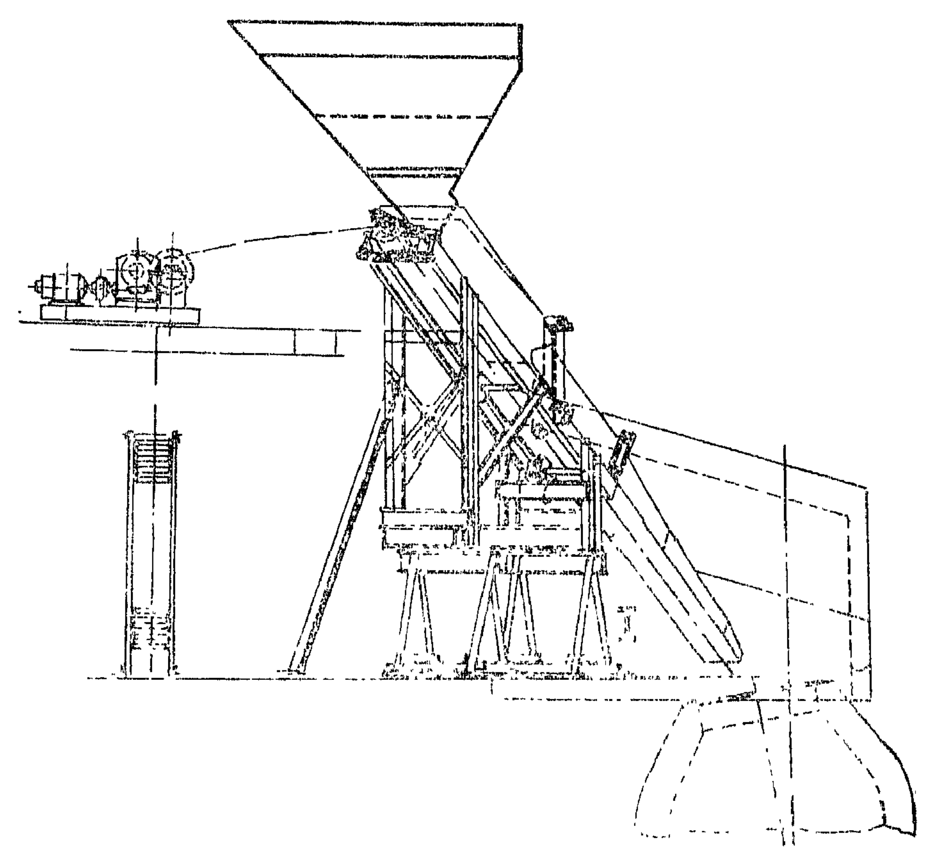
تشحن صوامع الجير والبوكسيت الموجـوده فى مستوى الصاله بواسطة أوناش مناسبة ٠

بحمل (وبنفل) الجير والبوكسيت من الصوامع فى قواديس تسع ٨ر ١ م ٣ ثم توضع على عربة تتحرك كهربائيا مارا بجميع المحـــولات الثلاثة ثم تنقل الحمولة الى ونش ذى القضيب الواحد ٠

وتوجد ثلاث صوامع واحدة للخاموالثانية للجير والأخيرة للبوكسيت، وتسحب الكمية اللازمة من كل صومعة حيث توزن ثم تشحن الى المحول بالاستعانة بفتحة شحن (مسقط مواد) (انظر شكل ٣٦) ٠

ويجب توخى السهولة فى حركة اماله مسقط المواد لدرجة كافية حتى نتمكن من تفريـغ المواد فى المحول بسرعة ويسر وتكفى امالة هذا المسقط لغاية ٣٨ه لانجاز هذه العملية ٠

ويوضح شكل (٣٨) جهاز الاسقاط حيث يمكن استخدامه لشحن المواد



شكل (٣٨) : شوت (مسقط) متحرك يسقط المواد المختلفة فى المحول

المطلوبة فى أى وقت أثناء النفخ دون أن يكون هناك مايدعو لدوران المحول أو توقف (ايقاف) عملية النفخ • ويمد جهاز الاسقاط بواسطة ونش كهربى وحدافة ثم يضبط فوق فوهة المحول لتفريغ حمولته ثم يبعد عن منطقة الغـازات الملتهبة المتصـاعدة من المحول ويستخدم فى صنع نهاية المسقط نوع من الصلب ذى المقاومة العالية للحرارة • ويشغل هذا المسقط من غرفة المراقبة • وتسحب كمية الحديد الزهر المناسبة من الخلاط ثم تنقل الى المحول فى عربة خاصـة ثم تصب فى المحول اما باستخدام ونش علوى متنقل أو باستخدام عربة مزودة بجهاز لامالة البوادق وتتحرك العربة بواسطة الكهرباء ونوزن شحنة الحديد الزهر بميزان خاص مقام فى موقع الخلاط ومن المستحسن استخدام الونش العلوى المتحرك لنقل الحديد الزهر من الخلاط الى المحول نظرا لسهولة التحكم والسيطرة على حركة البودقة أثناء تفريغ الحديد الزهر مما يكون له أكبر الأثر فى تقليل الفاقد منه •

٥ ـ أجهزة تنقية غازات المحولات

من الأمور البالغـة الأهمية تنقية الغازات والأدخنة التى تتصاعد أثناء نفخ الحديد الزهر بالأكسجين الخالص من أعلا المحول •

ويصاحب تصاعد هذه الغازات أبخرة بنية داكنة تحتوى على كثير من الجزئيات الدقيقة لأكاسيد الحديد والتى يجب ازالتها •• ولقد بينت الأبحاث التى أجريت على هذه الابخرة أن ٥٠ ـ ٨٠ ٪ منها تحتوى على جزيئات دقيقة حجمها حتى ٥ر٠ ميكرون ، وسنبة ٥ـ١٥٪ حبيبات يزيد حجمها عن اميكرون • والجدول الآتى (٢١) يعطى النسب المئوية لتركيب الغبار المتصاعد مع غاز المحولات •

ح	م	س أ٢	كا أ	او٢ أ٣	مغ أ	فـو	كب
٧٤ر٦٠	٤٦ر٥	٦٥ر١	٩٥ر١	٠٠٠٠	٦ر٠	١٠٥ر	١٠٥ر
٠٠ر٦٦	٤ر٥	٨ر	٥٤ر	٩ر	لاتوجد بيانات		
٤ر٦٥	٤٤ر٤	٨ر	٣٨ر	٩٨ر			

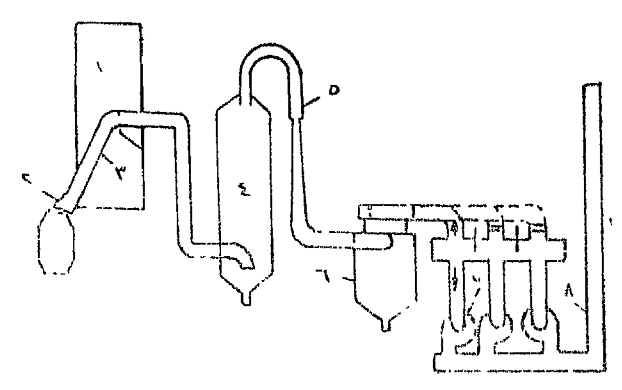
وتمثل أكاسيد الحديد مكانة الصدارة فى تحليل غبار المحولات اذ تستحوذ على أكبر نسبة منه ويتكون هذا الغبار أساسا بتبخر الحديد فى منطقة التفاعلات (٨ر-٦ر١٪) وتتأكسد أبخرة الحديد والمنجنيز عند تصاعدها مكونه دقائق من أكاسيدها تنتشر مع الغازات المتصاعدة ٠

وتتغير كمية هذه الأبخرة على مدى كبير يخضع لمعدل نفخ الأكسجين وضغطه وارتفاع انبوبه تمويل الاكسجين من سطح المعدن (عمق منطقة التفاعلات) وأيضا حجم المحول ٠

ومن المدهش أن هذه الأبخرة تزن من ١٠-٥٠ كجم /م ٣ من غازات المحول التى تتصاعد بمعدل ٣٧م٣/ ثانية من محول سعة ٢٠طنا أى أنه اذا أخذنا متوسط مدة النفخ للصبة ١٥ دقيقة فان كمية الغازات المتصاعدة تبلغ ٣٠٠ر٦ م٣ ويصبح متوسط كتلة الأبخرة المتصاعدة حوالى ٢٠٠ كجم للصبة بواقع ١١ كجم لكل طن من الصلب وقد سجلت بعض احصائيات التابعة لهذه العملية ارتفاع كتلة هذه الأبخرة الى ١٨ كجم طن من الصلب الناتج

ويتدخل وضع المحول بالنسبة الى مدخنته الى حد كبير فى تصعيد الأبخرة وتنقية الغازات المتصاعدة ٠

وأحيانا يؤخذ فى الاعتبار أثناء التصميم وضع المحول بجانب المدخنة وفى مثل هذه الحالات ترتب رؤوس التبريد فوق فوهة المحول بحيث توجه الغازات الى داخل المدخنة ويمثل شكل (٣٩) رسما لاحدى



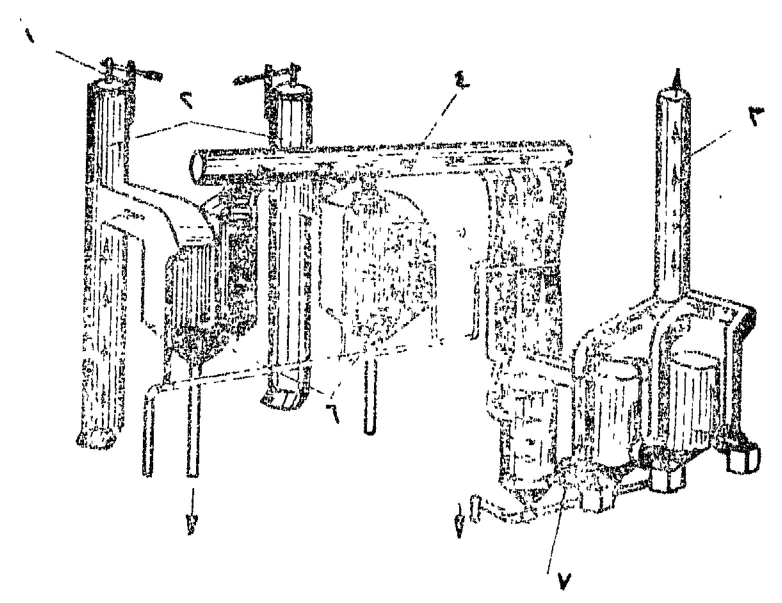
شكل (٣٩) : وحدة تنقية الغازات فى مصنع للصلب يحوى ٣ محولات سعة كل منها ٥ر٢٥ طنا ٠

١ - مدخنة
٢ - هوت (غطاء) يبرد بالمياه
٣ - انبوبة تبرد بالمياه
٤ - جهاز غسل الغازات
٥ - انبوبة فنتورى
٦ - سيكلون
٧ - مصرف للغازات
٨ - الاتربة

وحدات تنقيه غازات المحولات فى مصنع للصلب يضم ٣ محولات سعه كل منها ٢٥ر٥ طنا

ويوضع راس وأنبوبة مياه التبريد تأخذ الغازات المتصاعدة من المحلول طريقها الى جهاز تنظيف حيث يتم غسلها بواسطة رذاذ الماء المتناثر من رشاشات موجودة به وتستهلك ٣٠٠ طنا من المياه كل ساعة فتترسب أحجام الغبار الكبيرة نسبيا بينما لا تترسب الأتربه فتمر مع الغازات الى انبوبة فنتورى (لقياس معدل التدفق) لها اختناق وتقوم بتشتيت الغازات الى أسفل ويوجد أيضا عند اختناق الأنبوبة رشاشات لرش الماء • وبمرور الغازات فى اختناق الأنبوبة تكتسب سرعة كبيرة وتجذب معها ذرات المياه فى جهاز لفصل الغبار الى حد كبير فتترسب دقائق الغبار •

وعندئذ (تمص) تسحب الغازات المنقاة بواسطة مضخات تصريف الى مدخنة ارتفاعها ٤٨ مترا وبهذا تنخفض كمية الغبار فى الغازات المنقاة الى حوالى ٥رحجم فى المتر المكعب منها وفى شكل (٤٠) رسم توضيحى لاحدى وحدات تنقية غازات المحولات باحدى مصانع الصلب فى كندا وهى



شكل (٤٠) : رسم توضيحى لاحدى وحدات تنقية غازات المحول وجمع الغبار منها :
١ ـ صمام الأمان   ٢ ـ مدخنة مبطنة   ٣ ـ مدخنة
٤ ـ مجمع علوى   ٥ ـ انبوبة فنتورى وبها رشاشات متوسطة الضغط
٦ ـ حجرة تبريد عالية الضغط   ٧ ـ مروحة

مناسبة لمصنع ذى محولين سعة كل منهما ٤٠ طنا ويوجد فرق كل محول منهما كوة مياه التبريد المبطن بالطوب الحرارى ومدخنة ارتفاعها ٣٨ مترا ٠

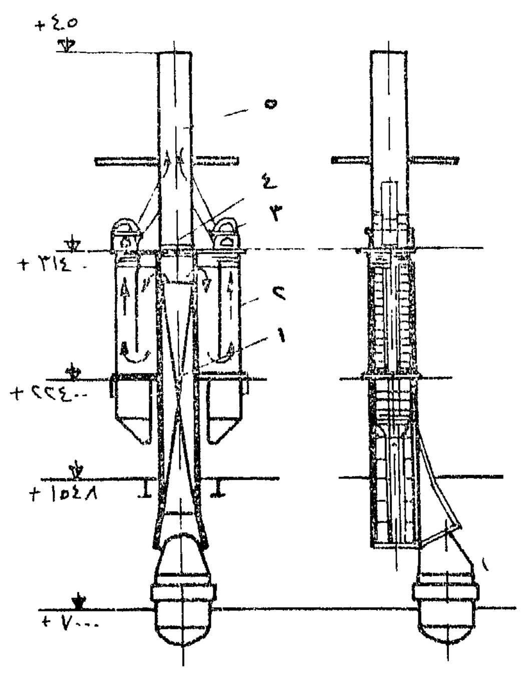
وبسحب الهواء البارد فان درجة حرارة الغازات أسفل كوه التبريد لاتزيد عن ٨٥ درجة مئوية وعند رتفاع معين تنتقل غازات المحول منها من المدخنة الى حجرات مزودة برشاشات للمياه ، تعمل تحت ضغط يعادل ٥ر١٠ ضغط جويا (مقيسا بمقياس الضغط) وتدفع هذه الرشاشات الماء رذاذا بمعدل ٩٧٥ لترا /دقيقة ٠

ومن غرف التبريد تدخل الغازات الى مجمع ثم تتوجه الى أنابيب فنتورى حيث تقابلها رشاشات توجد عند اختناق هذه الأنابيب ثم توجه الغازات بعد ذلك الى (سيفونات ارتفاعها ١ ر ٩ م وقطرها ٧ر٣ م (اثنان منها صالحان للعمل والثالث فى الصيانة) وبعد ذلك تسحب هذه الغازات بواسطة مراوح بمعدل ٢٠٠ م ٣ / دقيقة وتطرد فى الهواء الجوى عند درجه حرارة أقل من ٦٠ درجة مئوية ٠

يتضح لنا الفرق الشاسع فى كمية الغبار الموجود بالغازات أولا وكمية فيها بعد الاستخلاص فنجد أن كمية الغبار أولا ١٦ جم / م٣ ثم أصبحت ٥ر١ جم / سم ٣ ويعطينا شكل (٤١) صورة لاحدى وحدات تنقية الغازات الموجودة بالنمسا ٠

ويستفاد من كمية الحراره التى تحملها الغازات المتصاعدة من المحولات منها فى تشغيل الغلايات وتعتبر كمية الحرارة هذه هائلة اذ تنخفض درجة حرارة الغازات من ١٧٠٠ ـ ١٨٠٠ درجة مئوية الى ٥٠٠ درجة مئوية ٠

وتسحب الغازات بعد تبريدها بواسطة مضختى تصريف وتدفع الى مصائد الغبار التى تندى بالماء وفى الحال تترسب دقائق الغبار فى المصائد المنداة ثم تدفع أو يسمح بخروج الغازات الى الهواء الجوى ٠ ويفتح صمام فتتجه على الفور غازات المحول الى المدخنة مارة بالرشاحات المبللة بالماء ٠



شكل (٤١) : جهاز جمع الأتربة واستغلال الحراره المنطلقة مع الغازات
١ ـ غلاية تعمل بحرارة الغازات — ٢ ـ مرشح يعمل فى وسط مبتل
٣ ـ العادم — ٤ ـ صمام
٥ ـ اتربة المحولات

وبهذه الطريقة تنقى الغازات لدرجة كبيرة فلا نحمل معها فى النهاية الا كمية ضئيلة من الغبار لا تتعدى ١ر ـ ٢٥ر كجم/م٣ ·

يمثل جدول (٢٢) التحليل النمطى لغازات المحول على ارتفاع ٨ر١م تحت عنق مدخنة المحول أثناء النفخ ·

ويتضح من الجدول أن أول أكسيد الكربون هو أهم مكونات هـذه الغازات التى تحتوى على كمية من النتروجين ترجع الى عدم نقاوة الاكسجين تماما ودخول نتروجين الهواء الجوى الى المحول ، كما أنه من المحتمل أن يكون بعض النتروجين قد تسرب الى العينة المأخوذة بسبب عدم احكام الوصلات ·

جدول (٢٣)

رقم الصبة	رقم العينة	النسبة المئوية لتركيب الغازات المتصاعدة من المحول						ملاحظات
		كأ ٢	أ ٢	كأ	يد ٢	كيد ٤	ن ٢	
٢٠ر٤٨٠	١	٣ر٧	١ر٢	٨٩ر١	٧ر	٦ر	٤ر٧	أخذت العينة /١ بعد ٨ دقائق من بدء النفخ .
	٢	٤ر٨	٢	٨٣ر٢	—	١ر٨	٨ر٢	أخذت العينة ٢ بعد ١٠ دقائق .
	٣	٥ر٥	١ر٥	٨ر٦	—	٢ر٤	٤ر٦	أخذت العينة ٣ بعد ١٢ دقيقة .
	٤	٢ر٤	١ر٦	٩١ر٥	١ر٥	٢ر	٢ر٨	أخذت العينة ٤ بعد٤٥ر١٢ دقيقة ومدة النفخ الكلية ١٦ دقيقة معدل نفخ الاكسجين ٧٠ر٧٣م٣/دقيقة ضغط الاكسجين ١٢ ضغط جوى (مقياس الضغط)
٢٠٤٨٣	١	١٠ر٧	٩ر	٨١ر٥	٣ر٣	١	٢ر٦	أخذت بعد ٤٥ ث ، ١دقيقة من بدء النفخ.
	٢	٢ر٤	٣ر٦	٨١ر٦	٣ر	٤ر	٤ر٩	أخذت بعد ١٠ ث ، ٦ دقائق
	٣	٦ر٣	١٨ر٧	٨٧	٤ر	٢ر	٢ر٤	أخذت بعد ٤٠ ث ، ١٠ دقائق

٢٠ر٤٨٥	١	١١ر٤	١ر٤	٧ر٨٠	١ر٣	—	٣ر٤	أخذت العينة بعد ــ ٢ من بدء النفخ
	٢	٤	١ر٦	٩١ر٢	ر٤	٢ر	٢ر٦	« « « ٤٥ ٦ «
	٣	١ر٦	٢	٩٢ر٦	ر٧	٢ر	٢ر٢	« « « ٢٠ ٩ «

ث ق

مدة النفخ الكلية ٤٥ ١٢

١	٧٥	١٣
٢	٧١	١١ر٥
٣	٧٢	١٢

ث ق

مدة النفخ الكلية ١٣ دقيقة

رقم العينة	معدل تدفق الاكسجين م٣/دقيقة	ضغط الاكسجين ض ج (مقياس)
١	٧٧	١٢ر٥
٢	٧٣	١٢
	٧١	١١

٦ ـ المواد الأولية

الحديد الزهر :

يستخدم حديد زهر الأفران المفتوحة فى المحولات التى تطبق فيهـا طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الخاص .

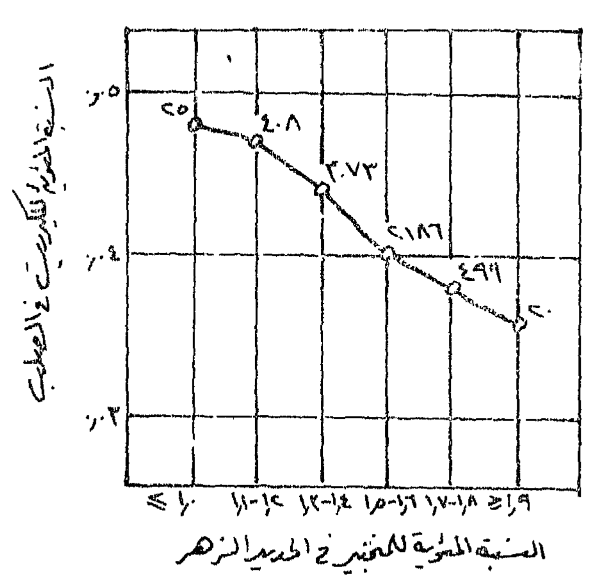
س	م		فـو			كب		
	المجموعة		درجة الحديد الزهر			درجة الحديد الزهر		
			أ	ب	ج	١	٢	٣
	(١)	(٢)	لا يزيد عـن			لا يزيد عن		
لغاية ٧٥ر٠	لغاية ١٠ر١	١٠ر١ـ ٧٥ر١	١٥ر	٢ر	٣ر	٠٣ر	٠٥ر	٠٧ر

ويحدد التحليل الكيميائى للحديد الزهر سير العملية وعمر البطانة والنتائج الفنية والاقتصادية للعملية ٠

وبمعرفة كمية السليكون فى الحديد الزهر يتحدد مقدما حجم الخبث وما يحتويه من سليكا وبزيادة حجم الخبث يشتد قذف الحديد خارج المحول ويرتفع استهلاك خام الحديد والجير ٠

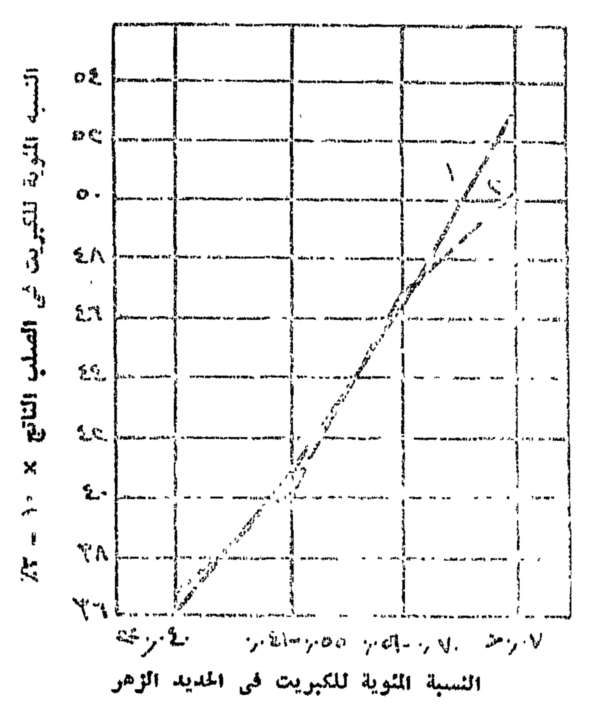
ولزيادة السليكا تأثير سىء على الحراريات القاعدية المبطانة كما تعوق ازالة كل من الفوسفور والكبريت من الصلب ٠

فى طريقة النفخ العلوية بالأكسجين لا يكون للسليكون المكانة الأولى فى الموازنة الحرارية ولهذا السبب يمكن تحويل الحديد الزهر اذا كانت نسبة السليكون به منخفضة ، أما المنجنيز فيقوم بدور فعال فى ازالة الكبريت (شكل ٤٢) وفى حالة نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على كبريت ٠٤ر٠٪ على الأكثر ويجب أن ترتفع نسبة المنجنيز الى ٥ر١٪ اذا كانت نسبة الكبريت بين ٠٦ر ــ ٠٦٥ر٪ أما اذا انخفضت هذه النسبة الى ٠٥ر٪ فانه من الممكن أن تقل نسبة المنجنيز الى ٣ر١٪ وفى نفس الوقت تضمن ازالة الكبريت بنجاح ٠ ومن المستحسن أن تكون تحاليل الحديد الزهر واقعة تحت المجموعة (٢) اذا استخدمنا طريقة النفخ العلوية لتحويله الى صلب ٠



شكل (٤٢) : يبين العلاقة بين نسبة الكبريت فى الصلب وكمية المنجنيز التى بالحديد الزهر (الأرقام المبينة على الخط البيانى عند الدوائر تدل على عدد الصبات)

وبالنسبة الى كمية الكبريت بالحديد الزهر فقد وجد أن أنسبها ما يقع تحت قسمى (١) ، (٢) وتؤدى الزيادة فى نسبة الكبريت بالحديد الزهر الى ارتفاع نسبته فى الصلب الناتج (شكل رقم ٤٣) واذا كانت نسبة الكبريت التى يسمح بها فى الصلب الناتج هى ٠٤ر٠٪ فانه يمكن الحصول عليها بسهولة اذا احتوى الحديد الزهر على نسبة من الكبريت لغاية ٠٥٥ر٠٪ أما اذا كانت النسب التى يسمح بها فى الصلب هى ٠٥ر٠٪ أمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة من الكبريت لغاية ٠٧ر٠٪ ولكن فى هذه الحالة يجب أن يكون هناك مقابل من المنجنيز لا تقل نسبته على ٣ر١٪ .



شكل (٤٣) يبين العلاقة بين نسبة الكبريت فى الصلب وكميته فى الحديد الزهر
١ ـ فى حالة عدم ازالة الخبث ٢ ـ فى حالة ازالة الخبث

ومن المالوف عمليا ازالة الكبريت من الحديد الزهر باضافة الصودا وغيرها من العوامل المزيلة للكبريت ويتم ذلك فى بوادق الحديد الزهر بن الأفران العالية والخلاط أو قبل شحن الحديد الزهر الى المحول وعندما يتم ازالة الكبريت من الحديد الزهر فى البودقة يجب ابعاد الخبث الكبريتى المتكون عن كل من الخلاط والمحول اذ تصل نسبة الكبريت بهذا الخبث

الى ٩ر٠٪ ولهذا فانه مهما كانت النسبة التى تدخل المحول صغيرة فان ذلك يجعل ازالة الكبريت بالمحول عسرة ٠

وعندما يحتوى الحديد الزهر على نسبة من الفوسفور لغاية ١٥ر٠٪ فانه يمكننا انتاج صلب به نسبة منخفضة من الكربون دون ازاله الخبث الأصلى أما اذا ارتفعت نسبة الفوسفور عن ذلك أى كانت بين١٦ر ــ ٢٥ر٪ وجب ازالة الخبث الأصلى وضبط خبث جديد ٠

وفى مصانع الصلب بالاتحاد السوفيتى يستعمل الحديد الزهر الذى يحتوى على التحاليل الآتية فى طريقة العلوية :

ك	٩ر٣ ــ ٣ر٤
س	٥ر ــ ٨ر٠
م	٣ر١ ــ ٧ر١
كب	٠٤ر٠ ــ ٠٧ر٠
فو	٠٨ر٠ ــ ١٥ر٠

وفى النمسا يستخدم الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من المنجنيز (٥ر١ ــ ٧ر٢٪) وفى أحد المصانع تنخفض نسبة السليكــون بالحديد الزهر كثيرا فلا تزيد عن ١ر ــ ٣ر٪ وقد تصل الى ٢ر ــ ١ر٠٪ فى مصانع أخرى أما الكبريت فيقع بين ٠٣ر٠ ــ ٠٧ر٪ ٠

أما فى كندا فمتوسط تحاليل الحديد الزهر بمصانعه كما يأتى :

ك	٤ر٤
س	٣ر١
م	٢ر١
كب	٠٢٥ر٠
فو	١٢٥ر٠

ولم تواجه أية صعوبة (فنية) عند تحويل الحــديد الزهر الذى يحتوى على ١٨ر٪ فوسفورا ٠

الخردة :

يجب مراعاة خلو الخردة من الشوائب كما يجب أن تكون ذات أحجام صغيرة ويضاف الخردة فى المحول بواسطة أوناش الشحن أو بالطريقــة

العادية فى صناديق بواسطة الأوناش ولما كانت بعض أجزاء من المحول عرضة للتهشم من جراء سقوط الكتل الكبيرة من الخردة فوقها فانه من الواجب أن يراعى تحصينها بصفة خاصة بطوب متين ·

وتتحدد كمية الخردة المضافة تبعا لنسبة السليكون بالحديد الزهر ودرجة حرارته وعادة تتراوح بين ١٥ ـ ٢٠٪ من وزن شحنة الحديد الزهر ·

الجير :

لنوع الجير أهمية خاصة فى صناعة الصلب بطريقة النفخ العلوية ويجب مراعاة حفظ الجير من التلف وتعبئته فور حرقه وبحيث يكون متجانسا فى التركيب الكيميائى ومتماثلا فى أحجامه ومما هو جدير بالذكر أنه يجب ألا تزيد نسبة السليكا به عن ٥ر٢٪ وكنهاية قصوى لهذه النسبة ٤٪ ·

ويجب ألا يزيد الفاقد من الجير أثناء تكلسيه بأى حال من الأحوال عن ١٠٪ كما يتحتم أن يكون الكبريت به أقل ما يمكن ·

وقد تزداد نسبة الكبريت بالجير اذا تم تكليسه مع فحم الكوك فى أفران الدست ، وقد تصل أحيانا الى نسبة ٣ر٪ مما يكون له أبعد الأثر فى ازالة الكبريت من الصلب ·

وباستعمال الغاز الطبيعى فى حرق الجير فان نسبة الكبريت به لا تتعدى ٠٣ر٪ ويجب ألا يكلس الفحم مع الجير · وقد وجد أن أحسن الأحجام للكتل الجيرية وأنسبها هى ما تقع بين ٥٠ـ ١٠٠ مم وقد يسمح باضافة نسبة صغيرة من كتل الجير ذات الاحجام الصغيرة ٢٠ـ ٥ مم ·

وليس من المستحسن استعمال الجير الناعم لأنه سرعان ما يتناثر بعيدا خارج المحلول عند تسليط الاكسجين على الشحنة ·

وللجير تأثير ملموس فى سرعة تكوين الخبث فكلما قلت نسبة الجير الغير تام الاحتراق وكانت أحجامه متماثلة كلما زادت سرعة ذوبانه فى الحديد وتكون خبث الجير الحديدى فى وقت وأقصر ·· وتعتبر الفترة التى يتأخرها تكوين الخبث عاملا سيئا يضيع خلالها كثير من الحديد وتتأثر بطانة المحول وأنبوبة النفخ ·

واذا لم تكن طبقة الخبث كافية تناثر المعدن على أنبوبة النفخ ويؤدى ذلك الى ضياع بعض الوقت حتى يتمكن العامل من تنظيفها ·

ولهذا يصبح خضوع مواصفات الجير لرقابة دقيقة أمرا حتميا وتحدد كمية الجير المضافة الى المحول أساسا بكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر وحامض السليسيك الموجود فى الخام كما تتحدد تبعا للخام المتاح ويتسبب نقص الجير فى انخفاض قاعدية الخبث فى حين لاتذوب الكميات الزائدة منه وتطفو كتلا من الخبث .

هذا ويمكن تحديد الكمية المطلوبة من الشكل البيانى (شكل (٤٤)) أو من الجداول ومن الرسم البيانى تتعين كمية الجير اللازمة كما يأتى :

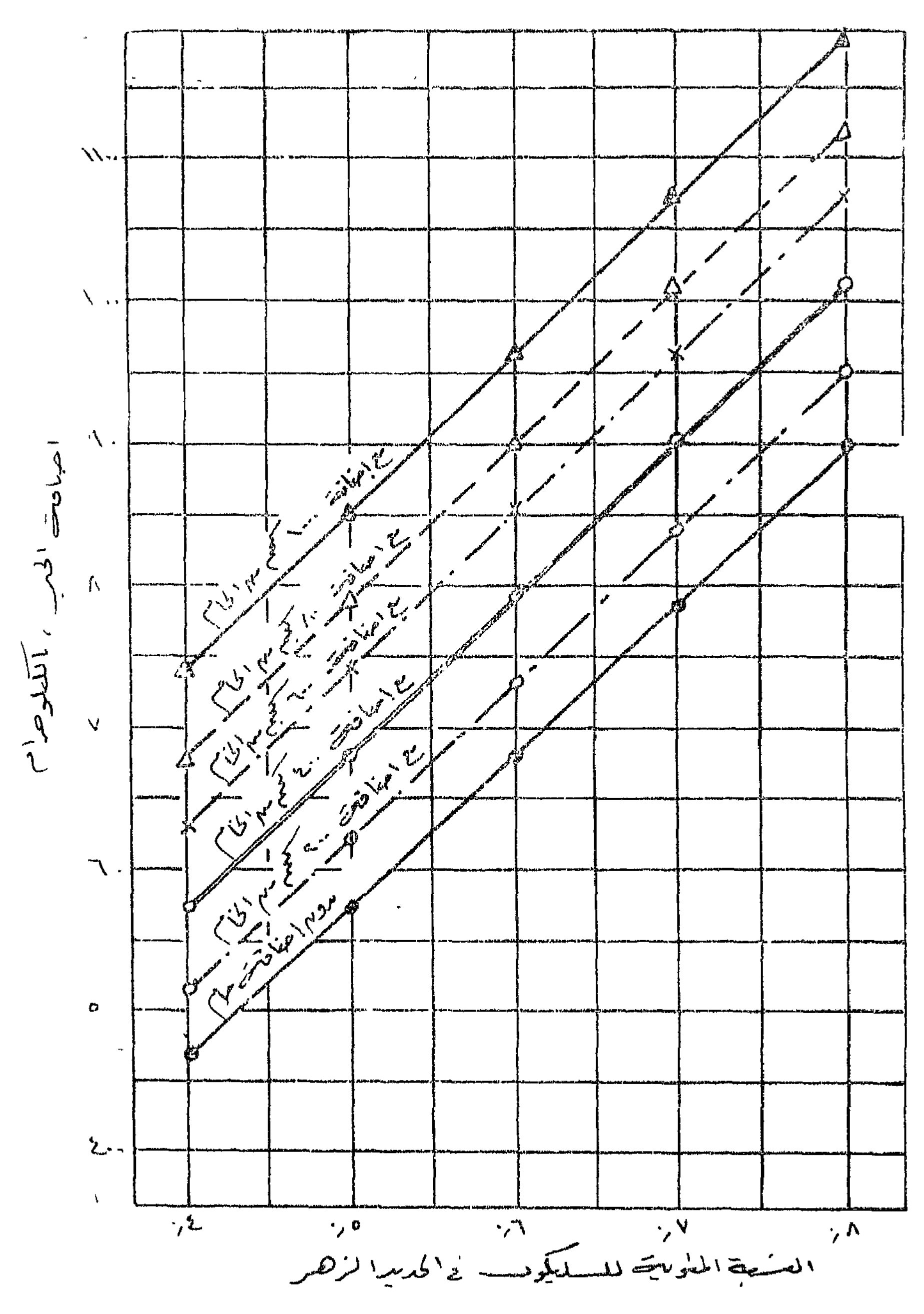
تحدد نسبة السليكون فى الحديد الزهر ولتكن ٦ر٠٪ على المحور الأفقى ويرسم خط رأسى من هذه النقطة يتقاطع مع أحد الخطوط المائلة والتى تبين كمية الخام المضاف ولتكن ٨٠٠ كجم ومن نقطة التقاطع هذه نرسم خطا أفقيا يعطى تقاطعه مع المحور الرأسى كمية الجير اللازمة وهى فى حالتنا هذه تساوى ٩٠٠ كجم .

وتضاف كمية أخرى الى هذه الكمية لضبط الخبث الثانى ويترك تحديد حجم هذه الكمية الى الملاحظ الذى يقوم بالعمل استنادا الى طبيعة الخبث المتكون وكمية خام الحديد المضافة . ويتغير استهلاك الجير تبعا للتركيب الكيمائى للحديد الزهر والطريقة المستخدمة للتبريد (باضافة الخردة أو خام الحديد) وتتراوح اضافة الجير بين ٤ـ٩٪ من وزن الشحنة .. ولقد أصبح الآن فى كثير من الأقطار كالاتحاد السوفيتى وغيره استبدال جزء من الجير بالحجر الجيرى أمرا معروفا .

خام الحديد ـ النفايات الحديدية :

عند اضافة خام الحديد الى شحنة الحديد الزهر مراعاة ألا تزيد نسبة السلكيا فيها عن ٨٪ حتى لا يتضخم حجم الخبث وتختل قاعديته كما يجب أن نتعدم بقدر الامكان الخامات ذات الأحجام الدقيقة حيث أنها سرعان ما تتطاير مع الغازات المتكونة أثناء النفخ خاصة اذا أضيفت أثناء النفخ .

ومن البديهى أن تكون نسبة الحديد به مرتفعة (حوالى ٦٠٪) حتى تزداد الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج . وتعتبر النفايات الحديدية بديلا جيدا لخام الحديد اذ تتميز بانخفاض نسبة السليكون بها (لغاية ٥ر٢٪) وارتفاع نسبة الحديد (حوالى ٧٠٪)



شكل (٤٤) : خطوط بيانية تحدد وزن التبير الذى يجب اضافته فى محول سعته ٢٠ طنا

واليك التحليل النمطى لهذه النفايات :

ح أ	٥٨٪
	٣٥ر٦٪
ح (الكلى)	٧٠٪
س أ٢	١ر٧٥
لو٢ أ٣	٠ر٦٢
كا أ	١ر٤
مغ أ	٠ر٦
م أ	١ر٤٣
فــو	آثار
كــب	آثار

ولكى تكون هذه النفايات صالحة للاستعمال يجب أن تتوافر بها بعض المواصفات ، فيجب أن تكون جافة حتى لا تلتصق بفتحة الشحن للمحول ٠

ويتوقف معدل اضافة خام الحديد على الطريقة المتبعة وعندما تتسبب النفايات المعدنية فى تبريد الشحنة تزود الشحنة بكمية من خام الحديد فعط حتى تزداد اكاسيد الحديد بالخبث مما يسرع باذابة الجير وفى هذه الحالة يكون استهلاك خام الحديد والنفايات المعدنية بمعدل ٧ر٠ــ١٪ ٠

واذا لم تضف النفايات المعدنية (اضافة الخام فقط) فان معدل اضافة الخام فى هذه الحالة يكون عادة بواقع ٥ــ٧٪ من وزن الشحنة ويقوم العامل المنوط اليه القيام بمتابعة هذه العملية بتنظيم هذا المعدل استنادا الى تحاليل الشحنة ودرجة حرارة المحول ونسبة الكربون بالصلب الناتج ومعدل اندفاع الأكسوجين ودرجة حرارة الصبية السابقــة حيث تتحدد طريقة التبريد ٠

ويستفاد كثيرا اذا استعملنا خامة الحــديد التى سبق تركيزهــا وتكويرها ٠ والتى تحتوى على ٦٥ ــ٧٠٪ حديدا ، ٥ر١ــ٢٪ سلبكا ٠

البوكسيت والفلوريت (الفلورسبار) :

حتى يتكون الخبث سريعا يضاف البوكسيت الى الشحنة بكميــة تتراوح بين ٥ر٠ــ١٠ر٪ من وزنها ويكون العامل المحدد هو السليكون

الموجود بالحديد الزهر وللألومينا الموجودة بالبوكسيت تأثير كبير على تكوين الخبث •

وترتفع نسبة السليكا بالبوكسيت حتى ١٠٪ وأكسيد الحديد حتى ٥٥٪ أما باقى الشوائب فتتواجد بكميات ضئيلة (من ١ر٠ــ٥ر٣ ٪ ونظرا لشراهة امتصاص البوكسيت لبخار الماء فانه يحتوى على نسبة عالية من الرطوبة (لغاية ٢٠٪) •

ويتركب الفلوريت من الكالسيوم والفلور اذ أن قانونه الكيمائى هو كافل ٢ وتحتوى الأنواع الجيدة من الفلوريت على أكثر من ٩٢٪ من فلوريد الكالسيوم وتكون نسبة السليكا بها أقل من ٥٪ وترجع أهمية الفلوريت الى مساعدته على سرعة ذوبان الجير فى الخبث لتكوين مصهور الخبث القاعدى •

خام المنجنيز :

لقد وجد عمليا أنه فى بعض الأحيان تسهل عملية ازالة الكبريت باضافة خام المنجنيز وعند استعمال طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الخالص يجب اضافة خام المنجنيز الذى يحتوى على أكثر من ٤٥٪ من المنجنيز وعلى أقل من ١٠٪ من السليكا •

٧ ــ مراحل النفخ ــ التفاعلات التى تحدث داخل المحلول

تكــوين الخبث

تضاف الى شحنة الحديد بالمحلول المواد المختلفة اللازمة كالخــردة والجير وخام الحديد والنفايات المعدنية أو قوالب الحجر الجيرى والبوكسيت• وقد تضاف مواد أخرى الى شحنة الحديد الزهر بعد صبها فى المحول •• ثم يثبت المحلول بعد ذلك فى وضع رأسى وعندئذ تنخفض أنبوبة تمويل الأكسجين وتضبط فوهتها النحاسية على ارتفاع معين من سطح الشحنة ويسمح للأكسجين بالاندفاع الى الحديد •

وتعتبر المسافة بين فوهة الأنبوبة وسطح الحديد من أهم العوامل التى تؤثر فى سير عملية النفخ وظروف تكوين الخبث وكمية الحديد الضائعة وأيضا عمر الأنبوبة •

وفى البــداية يندفع الأكسجين من فوهة الأنبوبة التى تكون على أقل ارتفاع حوالى ٧٠٠ــ٨٠٠ مم فوق سطح الحديد فى المحول ذى سعة

٢٥ طنا وبمعدل ٧٠ــ٨٠ م٣ من الأكسجين فى الدقيقة وبهذا نضمن اعتدال الأحتراق ٠

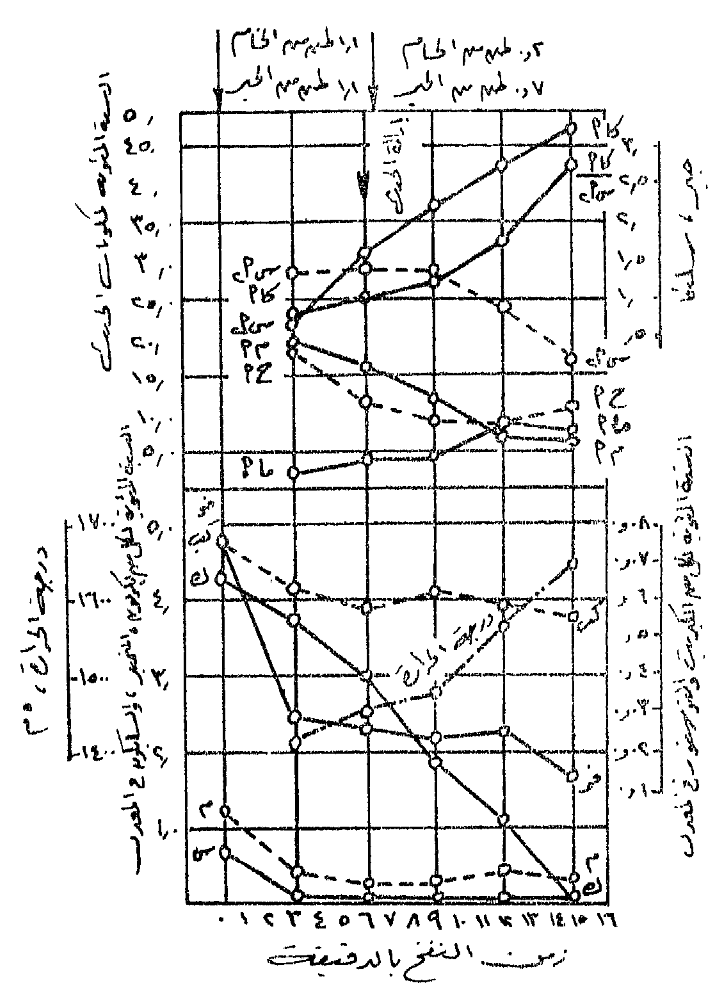
ويجب ألا تنخفض الانبوبة أكثر من ذلك حتى لا تتآكل فوهتها سريعا اذ تتعرض لتأثير قطرات المعدن شديدة السخونة التى تتناثر عليها من منطقة التفاعلات فتستهلك فى وقت قصير ٠

وباختراق تيار الأكسجين لطبقات شحنة الحديد يتأكسد الحديد أولا الى أكاسيد الحديد التى تقوم بعد ذلك بأكسدة العناصر الأخرى كالسليكون والمنجنيز والكربون والفسفور ولكن جزءا من هذه العناصر الموجودة بمنطقة التفاعلات يتأكسد مباشرة باتحاده بالأكسجين ٠

ونرى فى شكل (٤٥) صـورة نمطية لأكسدة الشوائب وتكوين الخبث لشحنة ٢٥٧ر٢٥ طنا من حديد زهر الافران المفتوحة تم تحويلها الى صلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين خلال فوهة اسطوانية الشكل قطرها ٤٢ مم ٠

ففى خلال ثلاث دقائق من بدء النفخ يتأكسد كل السليكون متحولا الى سليكا ثم يتأكسد كل من المنجنيز والكربون والفوسفــور فى نفس الوقت وتمييز هذه الطريقة عن النفخ بالهواء حيث يبدأ الفوسفور في الأكسدة فقط فى فترة ما بين النفخ عندما ينخفض الكربون فى الصلب الى ٠٤ر ــ ٠٥ر٪ فى خلال الثلاث دقائق الأولى من النفخ عندما يأخذ كل من السسليكون والمنجنيز فى التأكسد يتأكسد الفوسفور بشدة بينما يكون معدل تأكسد الكربون فى هذه الفترة أقل منها فى الفترات التالية وفى هذه الفترة تكون كمية أكسيد الكالسيوم بالخبث غير كافية وتتحد الأكاسيد الحامضية كثانى أكسيد السليكون وخامس أكسيد الفوسفور أساسا بالأكاسيد القاعدية كأكسيد الحديد وزو أكسيد المنجنيز وتتكون سليكات الحديد والمنجنيز (٢ح أ٠س أ٢ ، ٢م أ٠س أ٢) وفوسفات الحديد (٣ح أ٠فو٢ أ٥) وتصل قاعدية الخبث بعد ثلاث دقائق من بدء النفخ الى ٧٧ر٪ وترتفع الى أكثر من الواحد الصحيح بعد ستة دقائق من النفخ ولذا تنخفض أكاسيد الحديد به

ويزال الخبث بعد ٦ دقائق ، ١٠ ثوان من بدء النفخ وكقاعدة يزال الخبث بعد خمس أو ست دقائق من بداية النفخ ٠٠ وقبل ابعاد الخبث الأساسى بدقيقة أو دقيقتين ترفع أنبوبة تمويل الأكسجين الى ١٠٠٠ ــ



شكل (٤٥) : يبين التغيرات الكيميائية التى تطرأ على كل من المعدن والخبث أثناء فترة النف

١٢٠٠ مم فوق سطح الحديد أو يخفض تدفق الأكسجين مدة ونصف أو مرتين وهذا يتيح لتفاعلات الأكسدة عند السطح أن تبدأ فتزداد أكاسيد الحديد فى الخبث ويزداد حجمه مما يساعد على انسكابه عند امالة المحول

وبأخذ هذه الاعتبارات يضاف أحيانا بعض خام الحديد قبل ازلة الخبث بدقيقة أو بدقيقتين بهذا تنتهى الفترة الأولى .

بعد ازالة الخبث الأصلى يضاف الجير وخام الحديد والبوكسيت الى المحول وتبدأ الفترة الثانية من فترات النفخ فتظل أنبوبة الاكسجين عند

وضعها العلوى لدقيقة أو دقيقتين حتى تزداد كمية أكاسيد الحديد فى الخبث فيذوب الجير بسرعة ثم تعاد بعد ذلك الى وضعها الأصلى حتى نهاية عملية النفخ ·

وفى هذه الفترة ينفرد الكربون بعملية الأكسدة وتنخفض كثيرا كمية أكاسيد الحديد بالخبث حيث يصل معدل أكسدة الكربون الى ٣٥ر٠٪ فى الدقيقة · وتعمل الزيادة فى درجة الحرارة بين الدقيقة التاسعة والدقيقة الثانية عشرة على اختزال المنجنيز وقليل من الفوسفور ·

ويعزى هذا الى انخفاض كمية أكاسيد الحديد بالخبث ·

وفى الدقائق الأخيرة من فترة النفخ عندما تنخفض نسبة الكربون فى الصلب الى ١ر٠٪ ترتفع كمية أكاسيد الحديد فى الخبث وهذه الاكاسيد بدورها تؤكسد المنجنيز والفوسفور فتنخفض مقاديرها باطراد كلما اقتربنا من نهاية النفخ للحصول على صلب منخفض الكربون ·

وطول فترة النفخ ترتفع قاعدية الخبث تدريجيا حتى تصل الى ٧٢ر٢ عند نهاية النفخ وتعتبر بطانة المحول التى تتركب من الكرومجنزيت المصدر الوحيد لأكسيد الماغنسيوم الذى يظهر فى الخبث ·

وعادة يتغير التركيب الكيمائى للخبث الأصلى (الذى يتكون خلال ٦ـ٨ دقائق الأولى من فترة النفخ) فى الحدود التالية ويرجع هذا التغيير الى تركيب الحديد الزهر وظروف النفخ والاضافات الأخرى (خام الحديد والجير والبوكسيت)

جدول (٢٣)

سأ ٢	٢٥ـ٢٧
كا أ	٣٢ـ٣٥
كاأ:سأ ٢	٢ر١ـ٣ر١
ح أ	٦ـ١٧
م أ	١٠ـ١٦
لو ٢ أ ٣	٥ر٢ـ٥
مغ ٢ أ ٣	٣ـ٥

وتبعا لكمية الخبث الأول الذى تمت ازالته والاضافات المختلفه كالجير والخام والبوكسيت ، ظروف التشغيل ونسبة الكربون فى الصلب الناتج يصير تحليل الخبث النهائى كما يأتى : ـ

$س_2$ أ	١٤ ــ ٢٢
كا أ	٤٢ ــ ٥٠
كا أ : $س_2$ أ	٢ر٥ ــ ٣ر٥
ح أ	٥ ــ ١١
م أ	٧ ــ ١٤
$لو_2$ $أ_2$	٣ ــ ٧
مغ أ	٤ ــ ٨

القواعد الخاصة لازالة الفوسفور

فى مستهل عملية النفخ العلوى بالأكسجين يتأكسد الفوسفور سريعا وفى الواقع انه لا يمضى أكثر من ثلاث دقائق من بدء النفخ حتى يتم تأكسد الفوسفور كله .

ويساعد على ذلك تكوين مصهور خبث الجير الحديدى (أنظر شكل ٥ ج) وتتوقف نسبة الفوسفور بالصلب على كمية أكسيد الحديدوز الموجودة بالخبث فتقل نسبة الفوسفور بالصلب بزيادة كمية أكسيد الحديدوز بالخبث كما هو مبين بالجدول ٢٤ الذى تم اعداده بطريقة احصائية على عدد كبير من الصبات نفخت بالاكسجين النقى من أعلا فى محول سعة ٢٥ر٥ طنا وكانت نسبة الفوسفور بالحديد الزهر ١ر٠٪ .

ويمكن ازالة الفوسفور بسهولة برفع أنبوبة دفع الاكسجين وخفض ضغطه حتى يتأكسد الخبث جيدا كما أن اضافة خام الحديد تساعد على ازالة الفوسفور بنجاح .

	النسبة المئوية لأكسيد الحديدوز فى الخبث							
	لغاية ٥	١ر٥ – ٧	١ر٧ – ٩	١ر٩ – ١١	١ر١١ – ١٣	١ر١٣ – ١٥	١ر١٥	المجموع الكلى للصبات
عدد الصبات	١٨٢	٦٨٠	١٥٢٩	١٠٠٠	٣٣٣	١٦٣	١٦١	٤٠٤٨
متوسط النسبة المئوية للفوسفور	٠٣٨ر	٠٣٣ر	٠٢٨ر	٠٢٦ر	٠٢٤ر	٠٢١ر	٠١٩ر	

ويبين جدول ٢٥ مدى ارتباط نسبة الفوسفور في الصلب الناتج بقاعدية الخبث الذي يحتوي على ٧ – ٩٪ من أكسيد الحديدوز ويحتوى الصلب على ١٤ر – ٢٢ر٪ كربونا .

	قاعدية الخبث				
	لغاية ٠ر٢	١ر٢ – ٥ر٢	٦ر٢ – ٣	١ر٣ – ٥ر٣	٦ر٣
عدد الصبات	٢٥	٩٧٦	٢١٦٠	٢٦١	٦٤
متوسط النسبة المئوية للفوسفور	٠١٧ر	٠٢٢ر	٠٢٥ر	٠٢٧ر	٠٣ر

وبالتحكم فى ظروف تشغيل النفخ يمكننا الحصول على صلب يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور مهما كانت كمية الكربون به . فمثلا صلب القضبان الذى يحتوى على ٥٠ر ــ ٣٧ر٪ كربونا تتراوح نسبة الفوسفور به بين ٠٢٠ر ــ ٠٤٠ر/ وعادة ما يصب الصلب الناتج من المحول خلال فتحة لمنع اختلاط الصلب بالخبث وذلك لتلافى اختزال الفوسفور وعودته ثانية الى الصلب .

ازالة الكبريت من الصلب

يتسبب فعل القصر للخبث فى اعاقة عملية ازالة الكبريت من الصلب ولهذا السبب يجب أن تكون كمية الكبريت فى الحديد الزهر فى حدود ضيقة جدا وبقدر الامكان ويزال الكبريت من الحديد الزهر بعد خروجه من الفرن العالى وقبل صبه فى المحول .

وفى أثناء النفخ تنخفض كمية الكبريت بالصلب فى الدقائق الست الأولى (انظر شكل ٤٥) ودرجة ازالة الكبريت خلال هذه الفترة تساوى

$$\text{درجة ازالة الكبريت} = \frac{(\text{٠٧٦ر} - \text{٠٥٨ر}) \times \text{١٠٠}}{\text{٠٧٦ر}} = \text{٧ر٢٣٪}$$

وباضافة الجير بعد ازالة الخبث من المحول تزداد نسبة الكبريت زيادة طفيفة لاحتواء الجير على نسبة عالية من الكبريت (٢٣ر٠٪) ثم ما تلبث هذه النسبة أن تنخفض ثانية ولا تتعدى درجة ازالة الكبريت النهائيــة ٣ر٢٦٪ ولكى يزال الكبريت لدرجــة كبيرة يلــزم أن يكون الخبث ذا سيولة كبيرة وقاعديته عالية مع احتوائه على كمية اقل من أكاسيد الحديد كما تساعد الحرارة المرتفعة والتقليب الشديد للمعدن على ازالة الكبريت بنجاح وتتوافر هذه الظروف مجتمعه عندما يستخدم الاكسجين فى نفخ الحديد الزهر .

وبالرغم من ذلك تصادفنا أثنــاء ازالة الكبريت بعض المشاكل والصعاب نتيجة لتكون الخبث فى وقت متأخر (عند نهاية النفــخ) بالتركيب الكيمائى المطلوب أو لعدم الوصول الى درجة الحرارة العالية والتى تناسب هذه العملية .

وبعض مكونات الخبث لها تأثير فعال وقــوى فى ازالة الكبريت ومن هذه المكونات السليكا وأكسيد الكالسيوم ــ قاعــدية الخبث ــ وأكسيد المنجنيز .

يبين جدول (٢٦) تأثير قاعدية الخبث على كمية الكبريت بالصلب ودرجة ازالته من الحديد الزهر الذى يحتوى على ٠٦ر ــ ٠٦٥ر٪ كبريتا، ٣٥ر١ ــ ٥ر١٪ منجنيزا ، ٦ر٠٪ سليكونا .

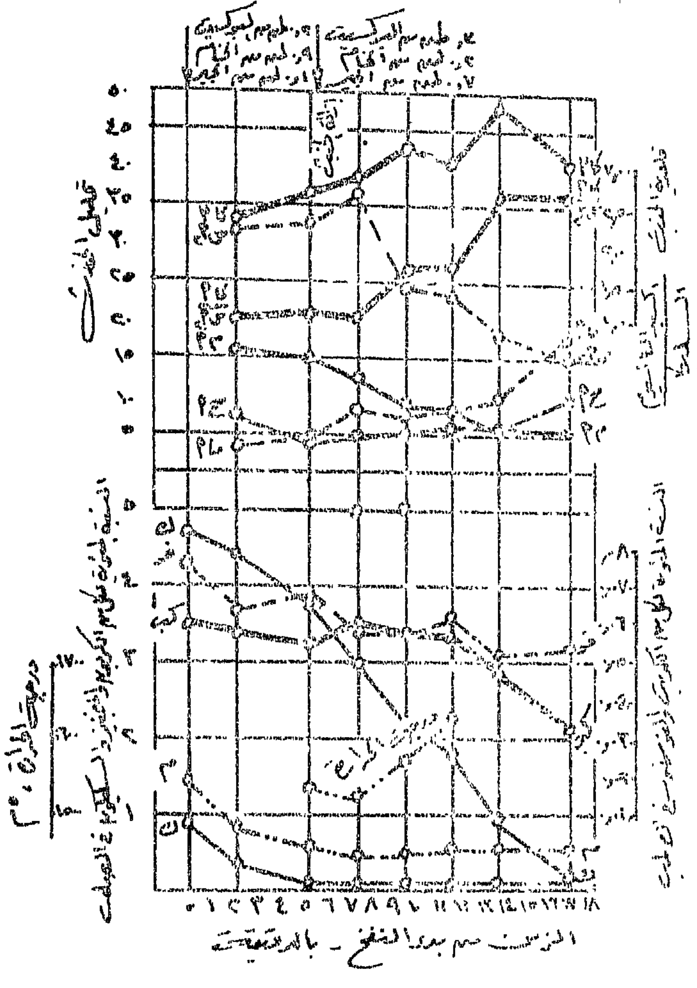
	قاعدة الخبث كا أ / س أ ٢					
	حتى ٢ر٠	٢ر١ ٢ر٥	٢ر٦ ٣	٣ر١ ٣ر٥	٣ر٦	
عدد الصبات	٥٩	١٨٥١	٣ر٥٨٣	٨٦٤	١٩٣	يحتوى الحديد الزهـــر على ٠٦ر ــ ٠٦٥ ٪ كب، ٥ × ١ – ٥ر١٪ م على حوالى ٦ر٠ ٪ س صلب فوار به ٠٧ر – ٢٪ ك
النسبة المئوية للكبريت	٠٤٧ر	٠٤٤ر	٠٤١ر	٠٣٨ر	٠٣٧ر	
درجة ازالة الكبريت	٢٥ر٤	٣٠ر٢	٣٥	٣٩ر٨	٤١ر٣	

وبالرغم من ذلك فان درجة ازالة الكبريت عندما تصبح فاعدية الخبث ٦ر٢ ـ ٠ر٣ أى فى الحدود المألوفة ويرجع ذلك الى ارتفاع لزوجة الخبث مع ارتفاع قاعديته ويعطى الخبث ذو القاعدية ٦ر٢ ـ ٣ اذا كانت سيولته كبيرة ـ نتائج أفضل ٠

التأثير الناتج عن اضافة البوكسيت والفلوريت أثناء ازالة الكبريت :

يعطى شكل (٤٦) فكرة عن التغييرات التى تطرأ على كل من الصلب والخبث لشحنه وزنها ٥ر٢٥ طنا بعد اضافة البوكسيت اليها وهـذه البيانات توضح لنا ما يأتى :

١ ـ اضافة البوكسيت يسرع من تكوين الخبث وتتعدى قاعديته الواحد الصحيح وفى غضون دقيقتين و ١٠ ثوان (بينما لا تتعدى هذه



شكل (٤٦) : التغيرات التى تطرأ على التركيب الكيميائى لكل من المعدن والخبث أثناء النفخ مع اضافة البوكسيت

القاعدية ٧٧ وفى وقت يزيد عن ذلك بثلاث دقائق اذا لم يضف البوكسيت الى الشحنة (أنظر شكل (٤٥) وبعد ٩ دقائق و ٣٣ ثانية تقفز القاعدية الى ٧٣ر١ وتصبح ٦٥ر٢ قبل نهاية النفخ بثلاث دقائق و ١٥ ثانية فى وجود لو ٢ أ٣ بنسبة ٢ر٦ ــ ١ر٥٪ وكانت سيولة الخبث مرضـــية ٠
وفى خلال هذه المدة تنخفض كمية الكبريت فى الصلب من ٠٤٧ر الى ٣٣ر٪ وبذلك تصبح درجة ازالة الكبريت الكلية ٤٥ر٪ وبدون اضافة البوكسيت يتكون الخبث بنفس القاعدية السابقة عند نهاية النفخ فقط ولا تنجح ازالة الكبريت بدرجة عالية ويحتوى مثل هذا الخبث عـلى ٤٢ر٣٪ لو ٢ ا٣ فقط ٠

٢ ــ يعرقل انخفاض نسبة أكسيد الحديد بالخبث من فاعليته فى ازالة الفوسفور ٠

٣ ــ تزداد كمية الماجنيزيا (آكسيد المغنســـيوم (فى الخبث باستمرار وتبلغ هذه الزيادة ذروتها أثناء الدقائق الثلاث و ١٥ ثانية الأخيرة من فترة النفخ ٠

٤ ــ لا يكون لاضافة البوكسيت أى تأثير على تأكســـد كل من السليكون والمنجنيز والكربون ٠

ويجب ربط كمية البوكسيت المضافة بنسبة السليكون الموجود بالحديد الزهر واذا كانت كمية السليكا بالخبث عالية عمل البوكسيت على زيادة السيولة فيزداد تآكل حراريات البطانة بالمحول ٠

ويضاف البوكسيت بالطريقة الآتيــة فى أحد مصــانع الصــلب بالاتحاد السوفيتى : ــ

١ ــ اذا احتوى الحديد الزهر على عنصر السليكون لغــاية ٧ر٠٪ وعنصر الكبريت لغاية ٠٧ر٠٪ وأضيف ٤ر٠٪ من البوكسيت أولا قبل النفخ ثم يضاف ٦ر٠٪ بعد ازالة الخبث أما اذا أضيفت كل الكميــة دفعة واحدة قبل النفخ فانه يلزم اضافة البوكسيت بواقع ١٪ من وزن الحديد الزهر ٠

٢ ــ وفى حالة احتواء الحديد الزهر على عنصر السليكون لغايــة ٥ر٠٪ وزيادة الكبريت عن ٠٧ر٪ يضاف ٨ر٠٪ بوكسيت قبل النفــخ ثم يضاف ثانية ٢ر١ بعد ازالة الخبث ٠

٣ ــ اذا زادت نسبة السليكون بالحديد الزهر عن ٧ر٠٪ لا يضاف البوكسيت خلال الفترة الأولى من فترات النفخ بل يضاف أثناء الفترة الثانية بنسبة ١٪ ٠

وبتثبيت العوامل الأخرى فان درجة ازالة الكبريت تزداد باضافة البوكسيت كما فى الجدول التالى :

	النسبة المئوية للكبريت فى الحديد الزهر			
	لغاية ٠٥ر	٠٥١ر ــ ٠٦ر	٠٦١ر ــ ٠٧ر	٠٧١ر ــ ٠٨ر
درجة ازالة الكبريت باضافة ١٪ من الكبريت	١٨ر٦	٢٥ر٢	٣١ر٨	٤١ر٦
درجة ازالة الكبريت بدون اضافة البوكسيت	١٣ر٦	٢١ر٩	٢٣ر٥	٢٩

ويلاحظ ان درجة ازالة الكبريت تزداد بارتفاع نسبته في الحديد الزهر . من هذه البيانات يتضح أن اضافة البوكسيت تعمل على ازالة الكبريت من الصلب بسهولة كما تساعد على سرعة ذوبان الجير وتكوين خبث ذى سيولة عالية وقاعدية مناسبة .

ولضمان ازالة الكبريت بدرجة كبيرة يضاف الى الشحنة كميه من الفلوريت بمعدل ٥ كجم لكل طن من الحديد قبل ازالة الخبث الأول وتقل هذه الكمية الى ٢ كجم لكل طن اذا أضيف الفلوريت بعد ازالة الخبث ..

وفى هذه الحالة ترتفع درجة ازالة الكبريت الى أكثر من ٣٥٪ واذا انخفضت كميته بالحديد الزهر .. فنجد أنها تبلغ ٣٩٪ اذا احتوى الحديد الزهر على كبريت بنسبة ٠٣ر - ٠٥٣ر٪ مما يتيح أمامنا الفرصة لصناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتـــوى على كبريت ٠٢٨ر٪ وبدون اضافة الفلوريت فان درجة ازالة الكبريت لمثل هذا النوع من الحديد الزهر لا زيد عن ٦ر١٨٪ .

تأثير وجود أكسيد المنجنيز فى الخبث على كمية الكبريت فى الصلب :

يبين جدول ٢٨ تأثير اكسيد المنجنيز م أ فى الخبث على كميـــه الكبريت فى الصلب مع العلم بأن قاعدية الخبث ٦ر٢ - ٣ ، ويحتوى الحديد الزهر على ٠٦ر - ٠٦٥ر٪ منه كبريتا .

	النسبة المئوية لاكسيد المنجنيز فى الخبث						
	الى ٧	١ر٧ ـ ٩	١ر٩ ـ ١١	١ر١١ ـ ١٢	١ر١٢ ـ ١٥	١ر١٥	الصبات الكلية
عدد الصبات	٨٨	١٤٠٠	٢٩٦٨	١٩٣١	٤٥٦	١٦٨	٨١٠١
متوسط كمية الكبريت	٠٤٦ر	٠٤٢ر	٠٤ر	٠٣ر	٠٣٦ر	٠٣٥ر	
درجة ازالة الكبريت	٢٧	٣٣ر٤	٣٦ر٥	٩٩ر٨	٤٢ر٩	٤٤ر٥	

يتضح من الجدول السابق أن ارتفاع نسبة اكسيد المنجنيز بالخبث تزيد من درجة ازالة الكبريت وباستبعاد الخبث الأول يستبعد جزء كبير من أكسيد المنجنيز عن المجموعة أولا يشترك فى ازالة الكبريت من الصلب ويصبح المتبقى منه فى الخبث الجديد (بعد ضبطه) ٦ — ٨٪ (انظر شكلى ٤٥ — ٤٦) وبهذا نتحقق درجة ازالة الكبريت المنشودة ٠

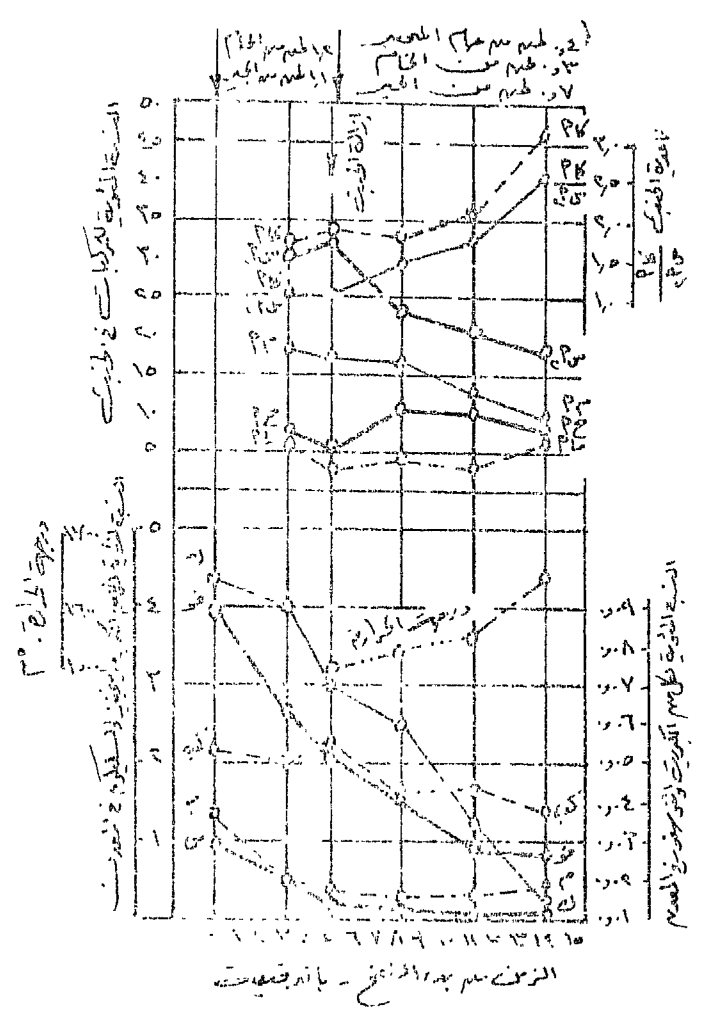
ولهذا السبب فانه لخفض نسبة الكبريت بالصلب يضاف الفيرومنجنيز الى المحول بعد ازالة الخبث لتعويض كمية أكسيد المنجنيز المفقودة مع الخبث ٠

اضافة خام المنجنيز فى المحولات

لرفع كمية أكسيد المنجنيز فى الخبث يمكن اضافة الخام الغنى بالمنجنيز فى المحول بعد ازالة الخبث الأصلى منه ٠ ونرى فى شكل (٤٧) سلوك شحنة أضيفت اليها خام المنجنيز بنسبة ١ر٦٪ من وزنها بعد أن تم استبعاد الخبث من المحول ٠

وبالرغم من وجود أكسيد المنجنيز بكمية كبيرة فى الخبث نظرا لانخفاض قاعديه فان كمية الكبريت فى الصلب لا تنقص قبل ازالة الخبث ٠٠ وبعد ازالة الخبث ترتفع قاعديه الخبث فى الوقت الذى تزداد فيه كمية أكسيد المنجنيز باضافة خام المنجنيز مما يساعد على ازالة الكبريت فتنقص نسبته من ٠٥٥ر٠ الى ٠٤٢ر٠٪ ثم أخيرا الى ٠٣٨ر٠٪ ٠

ويلاحظ ارتفاع كمية اكسيد المنجنيز فى الخبث النهائى لاضافة خام المنجنيز بعد اجراء عملية الخبث ٠



شكل (٤٧) : التغير فى التركيب الكيميائى فى كل من المعدن والخبث خلال فترة النفخ ، وذلك عند اضافة خام المنجنيز

كما يشاهد بالمقارنة من التذبذب الذى يطرأ على كمية أكسيد المنجنيز فى الخبث باستخدام خام المنجنيز أو بدون استخدامه (جدول ٢٩) ٠

	النسبة المئوية لآكسيد المنجنيز فى الخبث			
	٨	٩ ــ ١١	١٢ ــ ١٤	١٥
النسبة المئوية لعدد الصبات : دون استخدام خام المنجنيز	٩ر٢	٧٩ر٤	١٠ر٨	٦
باستخدام خام المنجنيز	٨ر٧	٢١ر٨	٣٩ر٢	٣٠ر٤

وكقاعدة اذا لم يكن هناك اضافه من خام المنجنيز فان كمية اكسيد المنجنيز فى الخبث تقع بين ٩ ــ ١١٪ أما اذا أضيف خام المنجنيز فان الفرق الكبير فى كميته يقع بين ١٢ ــ ١٥٪ ٠

وكثيرا ما تساعد وفره أكسيد المنجنيز فى الخبث على ازالة الكبريت من الصلب وقد لوحظ أن ٦٣٪ من الشحنات التى أضيفت اليها خام المنجنيز فى الفترة الثانية قد احتوت فى النهاية على كبريت تصل نسبته الى ٠٢ر٪ بينما لا يتعدى عدد الصبات بهذه النسبة من الكبريت عن ٤ر٣٤٪ اذا تم النفخ بدون اضافة خام المنجنيز اليها ٠

ومن هذا يتضح ان اضافة الخام الغنى بالمنجنيز بعد الخبث الأول فى طريقة النفخ العلوية بالأكسجين الخالص وتحسن كثيرا من عملية التخلص من الكبريت ٠

وحتى نحصل على نتائج طيبة عند صناعة صلب ذى كبريت منخفض من الحديد الزهر بنفخه بالأكسجين الخالص يلزم لنا ما يأتى : ــ

١ ــ اذا كان المطلوب عدم تعدى نسبة الكبريت بالصلب عن ٠٤ر٪ فانه يجب ألا تزيد نسبته فى الحديد الزهر عن ٠٥٥ر٪ كما يجب ألا تقل نسبة المنجنيز عن ٥ر١٪ ٠

واذا زادت نسبة الكبريت بالحديد الزهر عن هذه النسبة كان لزاما علينا التخلص منه فى البوادق بواسطة رماد الصودا (صودا آش) أو غيرها ٠

٢ ــ يراعى أن تكون سيولة الخبث عاليه وقاعدتيه مناسبة فى وقت مبكر بقدر المستطاع أى قبل الدقائق الخمس الاخيرة من فترة النفخ ويساعد على هذا اضافة البوكسيت ٠

٣ ــ يجب أن يحتوى الخبث فى الفترة الثانية على كمية كافية من أكسيد المنجنيز واضافة الخام الغنى بالمنجنيز كفيلة بتحقيق ذلك بعد التخلص من الخبث الأول ٠

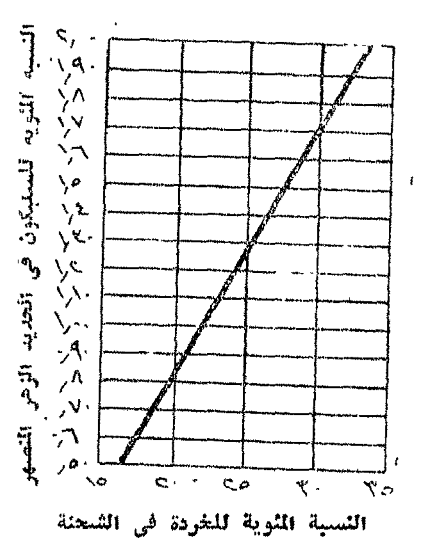
٤ ــ من الأهمية بمكان أن تكون درجة الحرارة عالية حتى نتخلص من الكبريت بنجاح ٠

ضبط درجة حرارة الشحنة أثناء النفخ

يتأثر عمر بطانة المحول بالتغيرات التى تطرأ على درجة الحرارة داخله كما تنعكس ظروف الحرارة على وجود المعدن وكمية الحديد الضائعة ٠

وبنفخ الحديد الزهر بالاكسجين الخالص سوفر لدينا كميه كبيرة من الحرارة كانت تضيع مع النتروجين الساخن فى حالة نفخ الحديد من أسفل المحول بالهواء فقط ٠

وقد وجد ان كميه هذه الحرارة الضائعة مع الغازات المتصاعده من محولات توماس وبسمر حيث يتم النفخ خلال القاعده وبالهواء تبلغ حوالى ٢٣ ـ ٢٩٪ وتنخفض هذه النسبه اذا ما تم النفخ بالاكسجين الخالص الى ٦ ـ ٨٪ وتستغل الحرارة الفائضة فى صهر كميه كبيره من الخـــردة أو خام الحديد وتتحدد هذه الكميه سلفا بمعرفه درجـــة الحرارة التى وصلت اليها الشحنة وكميه السليكون الموجودة بالحديد الزهر كمـــا أن التشغيل المستمر للمحول يؤدى الى رفع درجة حرارة بطانة المحول ويعطى الفرصة لزيادة كمية المبردات المضافة (الخردة والخام) وفى شكل (٤٨) نرى العلاقة التى تربط بين كمية المبردات المضافة ومقـــدار السليكون بالحديد الزهر ٠ ولما كان دور هذه الاضافات هـــو تبريد الشحنة لذلك فانها تضاف دون تسخين ، وفى الظروف التى تستخدم فيها النفايات الناتجة عن عمليات الدرفلة وغيرها ـ يراعى اســـتغلالها بالكامل فى تشغيل المحولات ٠



شكل (٤٨) : يبين العلاقه بين كمية الخرده المضافة ونسبة السلكون فى الحديد الزهر ٠

استخدام خام الحديد كعامل مبرد :

يضاف خام الحديد منفردا لأغراض التبريد قبل النفخ أو أثناء الفترة الثانية بعد التخلص من الخبث الاصلى ٠٠ ويتحدد وزن الخـام

المضاف بكمية السليكون الموجودة بالحديد الزهر فيضاف بنسبة ٤ ـ ٣ر٤٪ اذا كانت نسبة السليكون ٤ر٠ ـ ٦ر٪ ويضاف بنسبة ٨ر٤ ـ ٦ر٠٪ اذا كانت نسبة السليكون ٦١ر ـ ٨ر٠٪ ٠

وقد يضاف الخام فى الفترة الثانية بعد ازالة الخبث وعلى دفعة واحدة مع الجير والبوكسيت أو على عدة مرات طوال الفترة الثانية ٠

ولكن اضافة الخام دفعة واحدة فور ازالة الخبث لا تضمن تبريدا مناسبا كما ينبغى واضافة كمية كبيرة من الخام تسبب تبريدا للمعدن فور شحنها وتوفر من اختزال الحديد ٠ وعندما نشحن الشحنة بعد اضافة كمية الخام بدقيقة ونصف أو دقيقتين تبدأ تفاعلات بين الخام وعنصر الكربون الموجود بالمعدن مع تناثر المقذوفات الحديدية خارج المحول ٠

وبمقارنة اضافة الخام الى المحول فى الفترة الثانية دفعة واحدة واضافته على ثلاث دفعات متساوية بين كل دفعة والأخرى ٢ ـ ٥ر٢ دقيقة نجد أن الكفاءة الانتاجية فى الطريقة الثانية قد تزداد بنسبة ٥ر١ ـ ٢٪ نتيجة لانخفاض كمية الحديد الضائعة كمقذوفات واختزال الخام عن آخره ، وانخفاض عدد الصبات التى تصل الى درجة التسخين المفرط فتبلغ حرارتها قبل صبها الى ١٦٥٠ درجة مئوية وبذلك تؤدى البطانة عددا من الصبات أكبر ٠

من هذا تتضح المميزات العديدة الناتجة عن اضافة الخام على عدة دفعات ٠

وفى الفترة الأولى يضاف الخام وتتغير كميته تبعا لمقدار السليكون بالحديد الزهر وظروف التشغيل ويكون فى حدود ٧٠٠ ـ ١٢٠٠ كجم ويزال الخبث بعد ٥ ـ ٦ دقائق من عملية النفخ ثم يقوم العامل باضافة خليط الخام والجير والبوكسيت بوزن ٣٠٠ ـ ٦٠٠ كجم ويترك تقدير كمية الخام للملاحظ الذى يقوم بمراقبة العملية ويكون التقدير على أساس درجة الصبة بعد ازالة الخبث اذا قيست أو على درجة حرارة الصلب النهائية للصبة السابقة ٠

استخدام الماء فى التبريد :

تنخفض درجة حرارة الشحنة لاضافة الخام خاصة اذا أضيفت على عدة دفعات وفى بعض الأحيان يستخدم الماء لتبريد الشحنة وبذلك يقل تأثير الحرارة الشديدة على بطانة المحول ويستخدم الماء رذاذا بواسطة

تيار الاكسجين الذى يوجهه الى منطقة التفاعلات فيبردها . وفى احدى وحدات صناعة الصلب يدفع الماء الى المحول سعة ٢٥ر٥ طن بعد بدء النفخ بدقيقة وبمعدل ٢٥ – ٥٠ لتر كل دقيقة لمدة دقيقتين ويقوم الملاحظ بتحديد كمية الماء تبعا للظروف الموجودة .

وفى الفترة الثانية يصبح معدل سريان الماء ٢٠ – ٤٠ لترا/دقيقة لمدة ست دقائق ويبدأ دفع الماء بعد ضبط الخبث وبعد خفض أنبوبة النفخ اى بعد دقيقة أو دقيقتين من بدء النفخ فى الفترة الثانية .

وقد تزداد مدة سريان مياه التبريد ولكن يجب ألا يتأخر ايقاف سريانها قبل نهاية النفخ بدقيقتين وعلى وجه العموم فان كمية المياه اللازمة لتبريد الشحنة تنحصر بين ١٨٠ – ٣٠٠ لترا .

ومن حجرة المراقبه يقوم الملاحظ المختص بتنظيم معدل سريان المياه وغيرها من الأعمال الملحقة بها .. وبواسطة عمليات التبريد هذه تنخفض نسبة الشحنات ذات التسخين المفرط حيث تبلغ درجة حرارتها ١٦٧٠ درجة مئوية فأكثر فتبلغ النسبة من ٩ر٢ الى ٨ر٧٪ كما يزداد أداء البطانة لعدد كبير من الصبات فيزداد عمرها ١٥ – ٢٠٪ .

ولكن استعمال المياه لأغراض التبريد لا يخلو من بعض العيوب :

١ – يساعد على فقد كمية هائلة من الحرارة لتصعيد الماء ، كان من الممكن الاستفادة منها لاختزال كمية من خام الحديد وصهر مقدار من الخردة .

٢ – شدة التناثر (القذف) خارج المحول نتيجة لتأثير الماء المؤكسد على الشحنة .

٣ – لا يمكن استعمال الماء كعامل مبرد فى صناعة الصلب الكربونى اذ أن استعمالها يؤدى الى ارتفاع نسبة الهيدروجين فى الصلب مما يتسبب فى ظهور العيوب الطبقية به .

وفى حالة عدم اضافة الخردة فانه لتبريد الشحنة يجب اضافة الخام والنفايات المعدنية على عدة مرات تنظم بحيث تشمل الفترة الثانية كلها ويجب أن تنتهى الاضافات قبل نهاية النفخ بدقيقتين أو ثلاث ويمكن تبريد الشحنة لدرجة كافية باضافة قوالب الحجر الجيرى .

قياس درجة حرارة المعدن :

من الأمور التى يجب مراعاتها قياس درجة حرارة المعدن بانتظام من وقت لآخر ويتم ذلك بغمس ازدواج حرارى فى المعدن فيعطى درجة الحرارة المباشرة وبهذا نعمل على تنظيم الحرارة طوال مدة النفخ .

وفى حالة ازالة الخبث الأول فانه يحتم قياس درجة الحرارة خلال هذه الفترة وبمعرفة درجة الحرارة المقاسة يتمكن الملاحظ من تقدير كمية الاضافات التى يجب اضافتها لتبريد الشحنة فى الفترة الثانية ٠

وتتوقف درجة حرارة المعدن على التركيب الكيميائى للحديد الزهر فاذا قيست بعد ازالة الخبث بعد ٨ - ١٠ دقائق من بدء النفخ فانها تتراوح بين ١٥٦٠ - ١٥٨٠ درجة م كما ان درجة حرارة الحديد الزهر عند سحبه فى المحول وكمية خام الحديد التى تضاف قبل النفخ لها تاثير فى درجة الحرارة المقاسة ٠ وتصل درجة الحرارة ١٥٠٠ - ١٥٥٠ درجة مئوية اذا قيست بعد ازالة الخبث الأول بعد ٥ - ٦ دقائق من بدء النفخ ٠

وعادة تصل درجة حرارة الصلب عند صبه من المحول الى ١٦١٠ - ١٦٥٠ درجة مئوية (كل القياسات قد أخذت بواسطة الازدواج الحرارى من التنجستن والموليبديوم) ولصب الصلب عند درجة حرارة منتظمة اهمية كبيرة اذ يكفل لنا الحصول على كتل ذات جودة عالية ولهذا فانه من الأهمية بمكان قياس درجة الحرارة على فترات منتظمة ٠

ولاشك فى أن اليسر والسهولة فى قياس درجات الحرارة بسرعة ودقة كافية من الأمور التى يجب أن نهتم بها ٠

ويجرى تبريد جهاز قياس درجة الحرارة بالماء لحمايته من التلف ولقياس درجة الحرارة يدار درع الجهاز حتى يقفل فوهة المحول وبعد اخذ درجة الحرارة يزاح الدرع جانبا حتى لا يعوق العمل ٠

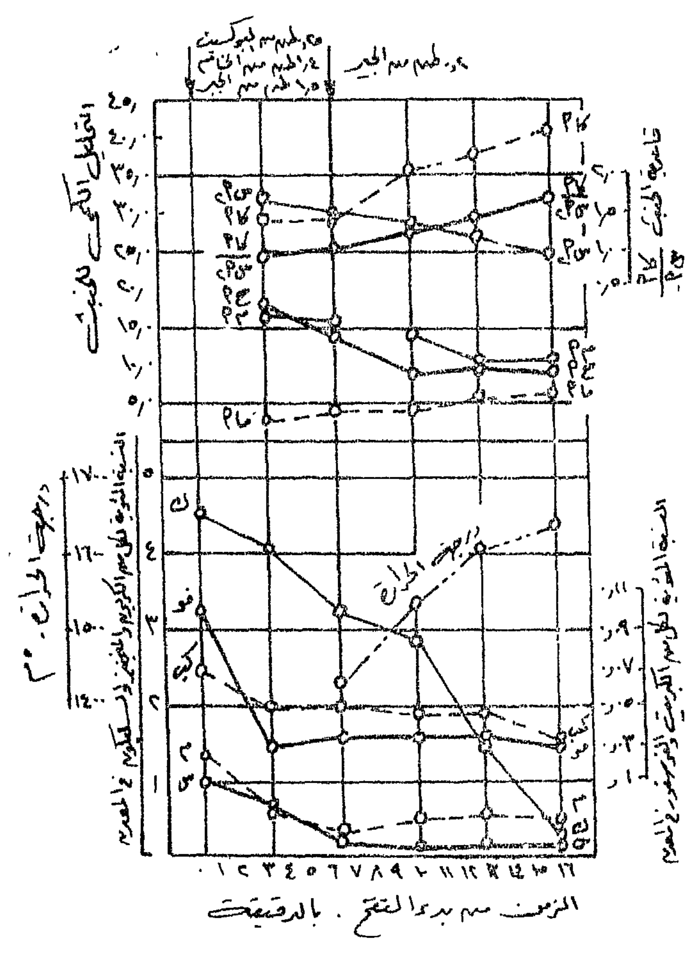
٨ - الطرق المختلفة للنفخ بالأكسجين من أعلا

التشغيل دون ازالة الخبث الاصلى :

تتطلب ازالة الخبث الذى يتكون أولا عددا من العمليات الاضافية التى تستغرق من ٥ر١ - ٥ر٢ دقيقة وفى هـذه الحالة يوقف دفع الأكسجين وترفع أنبوبة تسليط الاكسجين عن المحول ثم بامالة المحول ينسكب الخبث وبعد ذلك يعاد وضع المحول وتنخفض الأنبوبة ويستأنف النفخ ثانية ٠ وبهذه الطريقة يفقد كثير من المعدن مع الخبث كما يفقد بعض منه نتيجة لامالة المحول ٠

وقد لا يزال الخبث فى صناعة الصلب ذى الكربون المنخفض اذا احتوى الحديد الزهر على فوسفور بنسبة ١٥ر٪ كحد اقصى حتى تنخفض نسبة الفوسفور بالصلب الناتج ٠

وفى شكل (٤٩) نرى التغيرات التى تطرأ على تركيب كل من المعدن والخبث طوال فترة النفخ لشحنة احتفظت بالخبث المتكون دون ازالة الخبث الأول ، حيث صبت شحنه نزن حوالى ٢٥ر٦ طنا ، وقد أضيفت اليها جميع المواد المنفصلة قبل بدء النفخ بست دقائق ، ٢٥ ثانية ٠



شكل (٤٩) : تغير التركيب الكمبائى فى كل من المعدن والخبث اثناء النفخ دون ازالة الخبث الأصل

وتكفل لنا عدم ازالة الخبث الأولى درجة عالية من التخلص من الفوسفور والكبريت وبنفس الطريقة التى يتكون بها الخبث الثانى يتكون الخبث فى هذه العملية ٠

ويعزى انخفاض قاعدية الخبث النهائى الى ارتفاع نسبة السليكون فى الحديد الزهر ٠

ولوفرة آكسيد الحديدوز خلال ٥ر٦ دقائق الاولى من النفخ تأثير كبير فى ازالة الفوسفور ويساعد آكسـيد المنجنيز على التخلص من الكبريت تدريجيا حتى نحصل فى النهاية على صلب ذى درجة عالية من النقاوة ٠ وقد أثبتت سنوات طويلة من الخبرة صلاحية هذه الطريقة لصنع الصلب الموارذى النسبة المنخفضة من الكربون دون ازالة الخبث الاولى ٠

وفى أحد المصانع تحقق الآتى نتيجة لعدم ازالة الخبث الأولى :

١ ـ ارتفاع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج ٠

١ ـ ارتفاع الكفاية الانتاجية للصلب الناتج لانخفاض نسبة الضائع من المعدن أثناء ازالة الخبث بحوالى ٥ر٠٪ ٠

٢ ـ قصر مدة النفخ بحوالى ١ ـ ٢ مما يزيد من السعة الانتاجية للمحول ٠

٣ ـ زيادة طفيفة فى نسبة الفوسفور بالصلب الناتج ولكنها على وجه العموم أقل من ٠٤ر٪ ٠

٤ ـ احتفاظ المحول بأعمار بطانته المقدرة ٠

التشغيل باستعمال قوالب الخام والحجر الجيرى :

تحل قوالب الخام والحجر الجيرى فى الاسـتعمال محل الخام والجير للاسراع فى تكوين الخبث وتنظيم درجة الحرارة اذ أن اختزال أكاسيد الحديد وتحلل الحجر الجيرى تستنفذ كمية هائلة من الحررة ٠

وتضاف هذه القوالب الى المحول اما قبل شحن الحديد الزهر به واما أثناء عملية النفخ واستنادا الى كمية اكسيد الكالسيوم بهذه القوالب فانه يتحدد الموقف فاذا لم تكن هذه الكمية كافية كان لزاما علينا اضافة كمية أخرى من الجير حتى نعوض النقص فى المواد الصهارة ٠

ويعطينا جدول (٣٠) النتائج التى تحصل عليها من جراء العمل باستعمال قوالب الخام والحجر الجيرى وباستعمال الخام والجير ٠

التحليل الكيميائى للقوالب كما يأتى :

سأ٢	٣ر٣
كا أ	٣٥ر٤٥
ح٢ أ٣	٣٢ر٤٤
مغأ	ر٧٢
لو٢ أ٣	ر٩٥
م أ	ر١٩
ح أ	٠ر٦
غو	٠ر٠٣

المشحونات	وزن الحديد الزهر اللازم لانتاج طن من الصلب (بالطن)	الكفاية الانتاجية للصلب ٪		التحليل الكيماتى للحديد الزهر ٪				مدة النفخ/دقيقة/ثانية	الاضافات لكل ١/طن من الصلب – كجم					
		بغض النظر عن خام الحديد	مع حساب خام الحديد	ص	م	كب	فو		الجير (أكسيد الكالسيوم)	خام الحديد	قوالب الخام والحجر الجيرى: الكسل	قوالب الخام والحجر الجيرى – المحتوى: الحجر الجيرى (كربونات الكالسيوم)	قوالب الخام والحجر الجيرى – المحتوى: خام الحديد	البوكسيت
باستعمال القوالب	١ر١١٢	٩٠ر٥	٨٩ر٦	ر٧٦	١ر٤٨	ر٠٥	ر٠٨	١٥ – ١٩	—	—	١٠٤ر١	٣٧ر١	٣٤ر٥	٥ر٤
بالطريقة العادية	١ر١٠٥	٩ر٩/	٨٨ر٣	٠ر٧٨	١ر٤٨	ر٠٥	ر٠٨	١٥ – ٤٠	٧٠ر٢	٨٢ر٣	—	—	—	١٠ر٠

وكقاعدة يمكن أن يقال أن جميع الصبات التى أضيفت اليها قوالب الخام والحجر الجيرى تكون ذات حرارة منخفضة اذ تشكل الصبات ذات الحرارة العالية نسبة ٤٪ منها فى حين نبلغ النسبة ١٠٪ باستعمال الخام والجير ٠٠ ولعل أهم السمات التى تختص بها الصبات المضاف اليها هذه القوالب هو سرعة تكوين الخبث السائل ذى القاعدية الكافية ٠

ويوضح جدول (٣١) التركيب الكيميائى للخبث مأخوذة لصبتين بعد ٣ ، ٥ دقائق من بدء النفخ ٠

جدول (٣١)

عدد الصبات	زمن أخذ العينة بعد بدء النفخ (دقيقة)	التركيب الكيمائي للخبث ٪								
		س$_2$	كا أ	كا أأ س أ $_2$	مغ أ	ح أ	خ$_2$ أ$_3$	م أ	لو$_2$ أ$_3$	فو$_2$ أ$_5$
١	٣ر	٣٢ر٧٦	٣٢ر٥٢	١	٣ر٨٧	٣ر٧٨	١٨ر	٢٠ر٥٢	—	٠ر٢٣
	٥ر	٣٠ر٤٦	٣٢ر٨١	١ر٠٧	٤ر٤٣	٤ر٩٧	٧٤ر	١٩ر٦٤	—	٠ر٨٦
٢	٣	٣١ر٧٨	٣٢ر٥٧	١	٢ر١٢	٧ر٠٠	١ر١	٢١ر١٩	٢ر١٨٠	٠ر٧٣
	٥	٣٠ر٣٣	٣٥ر٠٤	١ر١٥	٣ر٢٨	٦ر٤٨	٢ر٨٧	١٨ر٥٦	٢ر٦٧	٠ر٧١

واذا أخذنا متوسط التحاليل لعدد من الصبات التى نستعمل فيها هذه القوالب نجد أنها لا تختلف عن تلك التى يستعمل فيها الخام والجير ونفس الشيء يقال بالنسبة لكل من الكبريت والفوسفور اذا احتوت هذه القوالب على ٣٥٪ فأكثر من أكسيد الكالسيوم فانه لا يكون هناك حاجة لاضافة الجير حتى تصبح قاعدية الخبث مناسبة ٠

كما سبق نجد لهذه القوالب دورا هاما فى تنظيم درجة حـــرارة الشحنة ولقد وجد أنه بزيادة الاضافات ٢٠٠ ــ ٣٠٠ كجم من القوالب التى تحتوى على ٣٥ر٤٥٪ كا أ (حجر جيرى) ، ٢٢ر٤٤٪ ح ٢ أ ٣ ، ٩ر٪ ح أ تنخفض درجة الحرارة قبل الاختزال من ٢٠ ــ ٢٥درجة م (متوسط استهلاك القوالب ٢٣٠٠ كجم لكل شحنة وزنها ٢٢ طنا) ٠

واذا اكتفينا بأضافة القوالب فقط دون اضـــافة الجير فان عــدد الصبات ذات الحرارة الشديدة (فوق ١٦٥٠ درجة م) لا يزيد عن ٥٪ فقط من العدد الكلى بينما لا تقل هذه النسبة عن ٣٠٪ فى حالة عـــدم استخدام هذه القوالب ولنفس الحديد الزهر ٠

ويمثل شكل (٥٠) العلاقة بين كمية كل من الكبريت والفوسـفور المتبقى فى الصلب وقاعدية الخبث فى حالة استبدال الخام والجير بالقوالب ٠٠ وبهذا الاستبدال نحصل على المميزات الآتية :

١ ــ سرعة تكون الخبث ٠

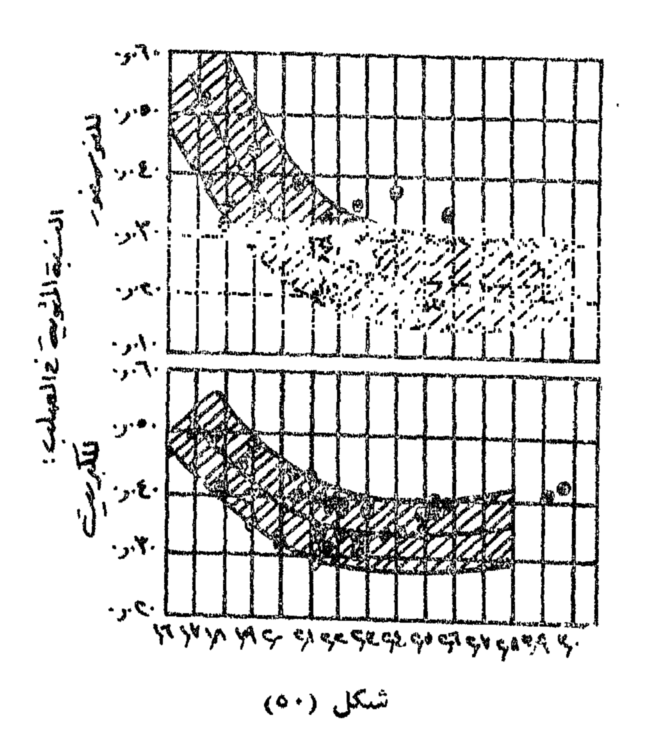
٢ ــ تحقيق قاعدية الخبث المطلوبة مع قلة كمية الاضافات المكونة له الأمر الذى يؤدى الى صغر حجم الخبث ٠

٣ ــ ارتفاع سيولة الخبث دون اضافة البوكسيت أو اضافة جـزء ضئيل منه ٠

٤ ــ زيادة الكفاية الانتاجية للصلب بسبب قلة الفاقد فى الخبث السائل ٠

٥ ــ تبريد الشحنة باستغلال جزء من الحرارة فى تحلل الحجـــر الجيرى ٠

٦ ــ انعدام وجود الجير الناعم ٠



شكل (٥٠)

اعادة استخدام الخبث المتخلف عن الصبة السابقة :

من المفيد علميا أن نبقى بالمحول بعض الخبث الناتج عن الصبة السابقة ويستغل هذا الخبث للاسراع فى تكوين الخبث والاقتصاد فى استهلاك الجير ٠

وفى هذه الحالة يضاف الى المحول ثلاثة أرباع (٧٥٪) الكمية المعتادة من الجير وخام الحديد بعد شحن الحديد الزهر به ثم يبدأ النفخ بالطريقة المألوفة ٠

ولقد أثبتت هذه الطريقة نجاحا مؤكدا فيتكون الخبث سريعا وبالقاعدية المناسبة ٠٠ وفيما يلى نظام تقريبى لتكوين الخبث عندما نبقى بالمحول ٢ طنا من الخبث السابق ، تركيبه الكيميائى كالآتى :

س أ٢	١٨ر٩١
كا أ	٤٤ر٦٥
كا أ : س أ٢	٢ر٣٦
ح أ	١٠ر١٠
م أ	١٠ر٢٨
ح٢ أ٣	١ر٩٤

ويشحن الى المحول الحديد الزهر الذى يزن ٢٥ر٥ طنا وتركيبه الكيمائى هو :

ك	٤ر٣
س	ر٦٨
م	١ر٥٢
كب	ر٠٦٣
فو	ر٠٩٨
ن	ر٠٠٥٦

ثم يضاف بعد ذلك ١٠٠٠ كجم من خام الحديد ، ٩٠٠ كجم من الجير (بدلا من ١٢٢٥ كجم) ، ١٠٠ كجم من البوكسيت وينتظر مدة ٥ دقائق بعد بدء النفخ ثم يزال الخبث وعندئذ يضاف ثانية ٤٠٠ كجم من الخام ، ٥٠٠ كجم من الجير ٠

جـدول (٣٢)

الزمن اعتبارا من بدء النفخ دقيقة/ثانية	النسبة المئوية لمحتويات (مركبات) الخبث							
	كا أ	س أ٢	ح أ	ح٢ أ٣	م أ	لو٢ أ٣	مغ أ	كا أ / س أ٢
٥ –	٣٦ر٦٨	٢٧ر٢٣	١٠ر٢	١ر٦٣	١٠ر٨	٤ر٤٢	٥ر٣٢	١ر٢٥
١٠ –	٤٢ر٧٣	١٩ر٢	٩ر٨٥	٢ر١	١٠ر٠٢	٥ر٠٥	٦ر٨٤	٢ر٢٣
١٤ ٤٥ خبث نهائى	٤٨ر٣١	١٧ر٣	٧ر٢٣	١ر٤٣	٩ر١٢	٥ر٣٨	٨ر٠٥	٢ر٨

ويوضح جدول ٣٢ التغييرات التى تطرأ على تركيب الخبث اثنـــاء النفخ وقد كانت درجة ازالة الكبريت ٤٠٪ ، ودرجة ازالة الفوسفور حوالى ٨٠٪ (فى صناعة الصلب الفوارذى الكربون المنخفض) ٠

يشحن الحديد الزهر الى المحول الذى به جزء من الخبث المتخلف عن الصبة السابقة مع تناثر بعض الخبث والحديد الزهر خارج المحول ٠

وكقاعدة فانه من الممكن ملاحظة هذه الظاهرة بعد الصـــبات التى تحتوى على نسبة صغيرة من الكربون لغاية ٠٧ر٠٪ (فترة ما بعد النفخ) ويحتوى مثل هذا الخبث على كميات وفيرة من أكاسيد الحديد التى تتفاعل بشدة مع الكربون الموجود بالحديد الزهر ٠

ومما هو جدير بالذكر أنه باستخدام الخبث المتخلف عن الصـبات السابقة يجب ازالة الخبث المتكون أولا وأكثر من ذلك فان ضخامة حجم الخبث فى المحول سوف تؤدى الى زيادة قذف الحـــديد خـــلال الفترة الثانية ٠

ظروف النفـخ

تؤخذ العوامل الآتية فى الاعتبار عند تحديد ظروف التشغيل «النفخ» حجم المحول النوعى ، وقابلية البطانة للاستمرار فى التشغيل ، وفترة تكون الخبث ، ومقاومة الطرف النحاسى لأنبوبة الاكسجين ، وكمية القذف وترتبط مدة النفخ بمعدل دفع الاكسجين فتقل بزيادة كمية الاكسجين المندفعة بالمحول فمثلا اذا كان دفع الأكسجين تحت ضغط يعادل ١٠ ضغطا جويا (مقاسا بمقياس الضغط) وزاد معدل سريانه من ٦٠ الى ٦٥ ـ ٧٠م٣/دقيقة لشحنة من الحديد الزهر تزن ٢٠ طنا فى محول حجمـــه ٥ر١٦م مكعب تنخفض مدة النفخ دقيقة ، ٨ ثوان ٠

ويعادل هذا الانخفاض فى الوقت ١٠٪ من الوقت الكـــلى ٠ وفى المتوسط فان مدة النفخ لشحنة الحديد الزهر التى تزن ٥ر٢٥ طنا فى محول حجمه ٢٠م ٣ تبلغ ١٦ دقيقة و ٢٠ ثانية اذا كان معـــدل سريان الاكسجين ٧٠ ـ ٨٠م٣/دقيقة ٠

ويجب ألا يغيب عن الحسبان أن لهذا المعدل حدا أقصى فكلما زاد معدل دفع الاكسجين زاد قذف المعدن خارج المحول مما يترتب عليه نقص فى الكفاءة الانتاجية له ويتيح لنا الكبر النوعى لحجم المحول فرص دفع الأكسجين بمعدل أكبر ٠

ولقد وجدنا عمليا أن ضبط وضع أنبوبة دفع الاكسجين فوق سطح المعدن يكفل لنا المعدل المطلوب وتكوين الخبث وأيضا المحافظـة على الأنبوبة ٠

وفى العادة ينبت ارتفاع الأنبوبة بحوالى ٧٠٠ ـ ٨٠٠ مم عن سطح المعدن فى محول سعته من ٢٠ ـ ٤٠ طنا وعند ضبط الخبث فى نهـاية الفترة الأولى وبعد اضافة الجير ترفع الأنبوبة الى ١٠٠٠ ـ ١١٠٠ مم فوق سطح المعدن وتظل عند هذا الارتفاع لمدة دقيقتين ٠

ومن البديهى أنه بتتابع عملية النفخ تتآكل بطانة المحول باستمرار مما يؤدى الى زيادة حجم المحول ونتمكن من زيادة الشحنة (الحديد الزهر بالمحول) وفى هذه الحالة لا يتغير ارتفاع أنبوبة الاكسجين عن سـطح المعدن ٠

وقد تتدخل بعض الاعتبارات الخاصة فلا نتمـكن من زيادة وزن شحنة الحديد الزهر بالمحول بالرغم من تآكل بطانة المحول بصفة مستمرة وفى هذه الحالة يجب خفض ارتفاع الانبوبة حتى نحافظ على المسافة بينها وبين سطح المعدن ثابتة دائما ٠

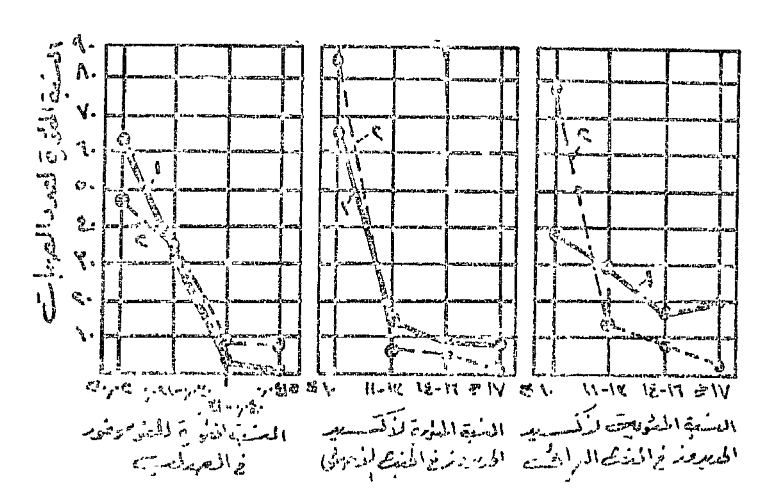
ويتأثر بدرجة ملحوظة عملية النفخ بحجم وشـكل الفوهات التى يندفع خلالها غاز الاكسجين الى المحول وبهذا يجب مراعاة أن يطابق ضغط الاكسجين عند خروجه من فوهات الضـغط المطلوب مع تحقيـق نفس المعدل ٠

واذا أنخفض معدل الاكسجين فانه بثبوت قطر الفوهـا تينقص ضغط تيار الاكسجين وتقل تفاعلات الاكسدة عند سطح المعدن وبذلك تطول مدة النفخ عندما يسلط الأكسجين بواسطة الفونية ذات الاختناق٠ ويحتوى الخبث على وفرة من أكاسيد الحديد مما يساعد على سرعة ذوبان الجير ويتكون الخبث بالقاعدية المطلوبة مبكرا وبذلك يزال الفوسـفور بنجاح ٠

ولهذا أهميته الكبرى فى صناعة الصلب الكربونى وفى شكل (٥١) نرى بيانيا التغيير الذى يطرأ على كمية الفوسفور بالصلب وكمية أكاسيد الحديد فى الخبث الأولى والنهائى عند نفخ الحـديد الزهر ذى تركيب (نمطى) وقد استعملت فيه طريقة النفخ بنوع خاص من الفونيـات بالطريقة الاسطوانية مع تثبيت كل من : ــ معدل الأكسجين ، وضغطه ، وارتفاع الأنبوبة عن سطح المعدن ٠

وتشير البيانات الى أن الخبث يكون أكثر تأكسدا باستعمال هـذا

النوع الخاص من الفونيات هذا الى أنه باندفاع الأكسجين خلال الاختناق الموجود بالأنبوبة يؤثر على مساحة كبيرة من سطح المعدن فيتكون كثير من أكسيد الحديدوز ولهذا فان درجة ازالة الفوسفور تكون عالية ٠



شكل (٥١) : تذبذب (تغير) نسبة الفوسفور فى الصلب ، واكسيد الحديدوز فى الخبث الأصلى والخبث النهائى

وتتوقع مقدما أن زيادة سمك طبقة الخبث تفقد تيار الاكسجين جزءا كبيرا من الطاقة المركبة فتقل سرعته ولا ينفذ الا لعمق صغير وعليه تنكمش منطقة التفاعلات ويهبط معدل تأكسد الكربون ٠ فتزداد اكاسيد الحديد بالخبث ويتكون الخبث الفعال سريعا ٠

ومن الناحية الاخرى سرعان ما يمتص هذا الخبث الأكسجين الذى يستغله فى أكسدة الحديد المحجوز به مما يضاعف من أكسدة الخبث ٠٠ ومن هنا يتضح أن لزيادة سمك طبقة الخبث نفس التأثير لزيادة المسافة بين الأنبوبة وسطح المعدن ٠

نفخ الحديد الزهر الفسفورى بالأكسجين من أعـــلا

انتشرت صناعة الصلب بنفخ الحديد الزهر بالأكسجين الخالص من أعلا انتشارا واسعا ويجرى النفخ فى محولات ذات بطانة قاعدية ويحتوى الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور الى صـــلب

باستخدام هذه الطريقة ، وباتخاذ بعض الاجراءات الخاصة فى النفخ أثبتت هذه التجارب نتائج ايجابية طيبة ·

بضبط وضع الأنبوبة فوق سطح المعدن ، ومعدل اندفاع الأكسجين وضغطه بحيث ينخفض معدل تأكسد الكربون فتزداد تبعا لذلك كمية اكاسيد الحديد بالخبث ويذوب الجير فيه سريعا ·

واذا اندفع تيار الاكسجين بسرعة معتدلة يوجه معظمه الى الخبث وفى هذه الحالة تتأخر أكسدة الكربون وتصبح الظروف ملائمة لازالة الفوسفور جيدا ·

ومما تجدر ملاحظته فى العملية السابقة أن تيار الاكسجين لا يكون له أى اتصال مباشر مع المعدن ولذلك تزال الشوائب مع الخبث اذ يؤثر تيار الأكسجين على الخبث الذى بدوره يؤثر على المعدن ·

ولتحقيق ما سبق يجب أن يكون تيار الأكسجين عريضا باختيار الضغط مباشرة عليها ·· لذا فأن كمية النتروجين الممتصة فى الصلب لا تتوقف أساسا على درجة نقاوة الأكسجين ويزال الفوسفور بنفس المعدل الذى يتأكسد به الكربون ·

يدفع الاكسجين تحت ضغط منخفض ورفع الأنبوبة بعيدا عن سطح المعدن فيتأكسد الفوسفور بمعدل ٢ر٠٪ فى الدقيقة بينما يكون هذا المعدل ٠٧ر٪ فى الدقيقة اذا كان ضغط الأكسجين عاليا والأنبوبة على ارتفاع صغير من سطح المعدن ·

وتعتبر كمية أكاسيد الحديد فى الخبث ومعدل أكسدة الكربون من العوامل الحيوية (الأساسية) لازالة الفوسفور اذا كان هذا أمرا مرغوبا ·

ومن الأهمية بمكان ألا يتعدى معدن أكسدة الكربون عن ٢٥ر١٪ فى الدقيقة وقد يزاد هذا بعد ازالة الفوسفور اذا كان هذا أمرا مرغوبا .

ومن الأمور البالغة الأهمية أن نأخذ فى الاعتبار الكبر النسبى فى حجم المحول النوعى حيث يشتد قذف المعدن خارجه نتيجة لازدياد عمليات التأكسد ·

ويمكن أن يقل القذف اذا لم يزد عمق السطح الخالص للمعدن عن ٤٠٠ مم ومع هذا فان الكفاية الانتاجية للصلب الناتج بهذه الطريقة تكون أقل من تلك لمحولات توماس المعتادة فكلما زادت نسبة أكسيد الحديدوز فى الخبث بمقدار ٤٪ قلت الكفاية الانتاجية بما يساوى ١٪ وتستمر بطانة المحول لنفخ ٨٠ ـ ١٠٠ شحنة ويلاحظ أن مدة النفخ تكون أطول ٤ مرات عن مدة النفخ السفلى بالهواء ·

وقد أمكن التغلب على الصعوبة الرئيسية التى تصادفنا عند نفخ الحديد الزهر ذى الفوسفور المرتفع فأجريت التجارب لنفخ هذا الحديد باستخدام ثلاث أنابيب لدفع الاكسجين بدلا من واحدة ووضعت هذه الأنابيب متماثلة على محيط فوهة المحول وبهذا يصبح التأكسد أكثر انتظاما . ومن الممكن استغلال احدى هذه الأنابيب لأكسدة الكربون بينما تستغل الأخريتان لازالة الفوسفور ويجرى نظام التشغيل كما يلى : —

تنخفض الأنابيب أولا الى مسافة ٣٠٠ — ٥٠٠ مم عن سطح المعدن ثم يبدأ النفخ لمدة ١٠ دقائق (لشحنة تزن من ٧ — ١٠ طن) يضاف أثناءها كميات صغيرة من الجير الى الشحنة وبعد ذلك ترفع الأنابيب الى ارتفاع ٦٠٠ — ١٠٠٠ مم وتبدأ ازالة الفوسفور وفى خلال ثمان دقائق تنخفض نسبة الفوسفور الى ١ر٠٪ بينما كان يمثل فى البداية حوالى ٧ر١ — ٠ر٢٪ وتصبح نسبة الكربون ٥ر٠٪ عندئذ يزال الخبث المتكون ويضبط الخبث الجديد ثم تنخفض أنبوبتان فقط لاتمام أكسدة الكربون بينما تظل الثالثة كما هى : —

وتستغرق كل هذه العمليات حوالى ٢٥ دقيقة بحيث يتم فى النهاية أكسدة الفوسفور تماما فى نفس الوقت مع الكربون .

وقد طبقت الطريقة السالفة الذكر فى عدة تجارب أجريت على شحنات من الحديد الزهر الفوسفورى بين ٤ — ٥ر٤ طنا وكان الصلب الناتج محتويا على نسبة من الفوسفور أقل من ٠٣ر٠٪ وغالبا كانت هذه النسبة أقل من ٠٢ر٠٪ وكانت نسبة النتروجين ٠٠٢ر — ٠٠٦ر٠٪ ويجب مراعاة ألا يقل حجم المحول النوعى عن ١م٣/طن من الشحنة ويفضل أن يكون هذا الرقم بين ٢ر١ — ٥ر١ م مكعب طن حتى نتفادى شدة القذف اذا كان الخبث غنيا بأكسيد الحديدوز .

وبالرغم من المزايا التى تتمتع بها هذه الطريقه فانها لا تخلو من بعض العيوب منها التباطؤ فى أكسدة الكربون طول فترة النفخ وقصر عمر البطانة .

وقد لا نحتاج الى ازالة الخبث عند صناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة من الفوسفور لغاية ٥ر٠٪ وبمقارنة نفخ الحديد الزهر ذا الفوسفور المنخفض والحديد التوماسى بالأكسجين من أعلا فى نفس المحول نجد أن مدة نفخ الأخير تزداد بمقدار ١٢ دقيقة بينما ينخفض الانتاج اليومى من ١٣٢٠ طنا الى ٩٦٠ طنا ويرتفع استهلاك كل من الخام والجير وفى نفس الوقت ينخفض معدل عمر البطانة من ٢٥٠ — الى ١٦٠ صبه وعندئذ يصبح الصلب الناتج باهظ التكاليف .

ولقد أكدت التجارب التى أجريت فى الاتحـــاد الســوفيتى أنه بالامكان انتاج الصلب المطاوع الفوار الذى يحتوى على فوسفور لا تتجاوز نسبته ٠٠ر٥٪ ، فينخفض النتروجين من الحديد الزهر (تحليله الكيميائى هو) ٠

ك	٣ر٢ ـ ٣ر٨
م	٠ر٢٧ ـ ٠ر٦٥
س	ر١ ـ ر٢
فو	١ر٤ ـ ١ر٧
كب	ر١ ـ ر١٤

وباستعمال الصــــودا يزال حوالى ٥٠ ـ ٥٠٪ من كمية الكبريت الموجودة بالحديد الزهر ويضاف فيه الجير حوالى ٦ ـ ٧ ٪ الى المحول قبل شحنه بالحديد الزهر ثم بعد ذلك ٥ ـ ٧ دقائق يضاف ٦ر٥٪ من الجير ثانية بعد ازالة الخبث ٠

ويستعمل فى أغراض التبريد كل من الخردة وخام الحديد ، ويصل معدل استهلاك الأكسجين ٦٢ ـ ٨٠ م٣ لكل طن من الحديد الزهر ، وبهذا المعدل تستغرق الشـــحنة التى تزن ٧ ـ ٨ طنا حوالى ١١ ـ ١٥ دقيقة ويبلغ استهلاك الجير ١٢ ـ ١٤٪ وقد أزيل الفوسفور فى نفس الوقت مع الكبريون ، وتم ذلك بضبط ارتفاع الأنبوبة ومعدل اندفــاع الأكسجين ٠

فمثلا كانت نسبة الفوسفور ٠٤٢ر٪ عند الدقيقة ١١ عندما كانت نسبة الكربون ٨٤ر٪ ودرجة حرارة المعدن ١٥٤٠ درجة مئوية وكانت قاعدية الخبث حوالى ٢ ويحتوى على ٣ر١٨٪ منه أكاسيد حديد، ٢٧ر٠٨٪ خامس أكسيد الفوسفور ٠

كان القذف فى هذه التجارب على أشده مما أدى الى قلة الكفــاية الانتاجية للصلب الناتج وقد أجمعت كل التجارب على أنه من الممكن من ناحية المبدأ تحويل الحديد الزهر الفوسفورى الى صلب وذلك بنفخه بالأكسجين الخالص ومن أعلا ٠

ولكن عيب الطرق المتبعة فى هذا الصدد أنها لا تعطى نتائج طيبة بالقدر الكافى بين النواحى الفنية والاقتصادية ٠

ومؤخرا وبعــد سـلسلة من التجــارب قامت بهــا جمعية الفلزات بفرنسا ، دخلت الى ميدان الصناعة الطريقــة الجديدة لتحويل الحديد

الزهر الفوسفورى الى صلب ويتم ذلك بنفخه بالأكسجين النقى من أعلا المحول مع اضافة مسحوق الجير ٠

ينشر مسحوق الجير على سطح المعدن ثم يأتى تيار الأكسجين فيدفعه الى الداخل دفعا ، وبمعرفة التركيب الكيميائى للحديد الزهر تتحدد كمية الجير ، وتبعا للطريقة المستخدمة ، يتبين معدل اضافته ويقوم بتنظيم ذلك مغذيات خاصة ويستحسن أن يكون مسحوقا ناعما حتى تزداد فاعليته ٠

والطرق المتبعة لنفخ الحديد الزهر فى محول يسع ٣٠ طنا هى كما يأتى :

تشحن كمية الخردة أو خام الحديد اللازمة الى المحول الذى يحتوى على بعض الخبث المتخلف عن عملية سابقة ثم لشحن الحديد الزهر الذى يحتوى على ٦ر١ ــ ١ر٢٪ فو ٠ ١ر ــ ٧ر٪ س ، ٨ر٪ م ، بعد ذلك يضاف الجير ويبدأ النفخ بالأكسجين بحيث تكون الأنبوبة على ارتفاع ١ ــ ٥ر١م عن سطح المعدن وأثناء النفخ تخفض الأنبوبة تدريجيا حتى ارتفاع ٥ر٠ مترا وفى وقت واحد يزال الخبث ويضاف الى المحول ١١٠ كجم من الجير لكل طن من الشحنة مع نفخ ٥٠م٣ من الأكسجين لكل طن منها وعندما يصل الكربون الى ٦ر٪ والفوسفور الى أكثر من ١ر٪ يكشط « يزال » الخبث ويحتوى مثل هذا الخبث على ٥٥ ــ ٥٧٪ كا أ ، ٢٠ ــ ٢٥٪ فو أ٥ ، ٥ ــ ٨٪ ح ٠

بعد أن يستبعد الخبث نهائيا (يزال تماما) يضاف خام الحديد أو الخردة ثم يستأنف النفخ بالأكسجين من جديد مع اضافة الجير حتى نصل الى نسبة الكربون المنشودة مع مراعاة أن تكون أنبوبة الأكسجين على ارتفاع ٥ر٠م فوق سطح المعدن ٠

خلال الفترة الثانية يكون النفخ بمعدل ١٥م٣ لكل طن من الصلب كما تكون اضافة الجير بواقع ٣٠كجم/ط ٠

ويحتوى الخبث النهائى على ١٠٪ فو٢أ٥ ، ٢٠٪ ح مع أن نسبة الفاقد من الحديد المتكون صغيرة ٠٠ والصلب الطرى لا تتعدى نسبة الفوسفور به ٠٢ر٪ وبهذه الطريقة يمكن انتاج أنواع من الصلب تضارع فى خواصها وجودتها الأنواع التى تصنع بطريقة الأفران المفتوحة ٠

ومن المفيد أن نعلم أنه بهذه الطريقة يمكن نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور ٠

٩ ــ صناعة أنواع الصلب المختلفة وجودة الصلب

تستخدم طريقة النفخ العلويه بالأكسجين عمليا لصنع الصلب الكربونى بنوعيه من الفوار والمخمد ، كما نستخدم أيضا فى صنع عدد من السبائك الفولاذية ٠٠ ولقد أسهمت هذه الطريقة اسهاما كبيرا فى انتاج معظم انوع الصلب فنجد ان غالبية أنواع الفولاذ المشكلة قد تم صنعها بهذه الطريقة فعلا ٠

فمن هذا الصلب تصنع الصفائح الرقيقة والألواح التى تم درفلتها على البارد لصنع هياكل العربات والألوان المدرفلة على البارد وعلى الساخن اللازمة لأغراض التشكيل بالبثق ٠ (العوارض ، الكمرات على شكل المجرى ــ الكوع ــ الالكترودات ــ أسلاك البرق « التلغراف » ــ حديد التسليح والقضبان ٠٠ الخ) ٠

ومن الطبيعى أن صناعة كل نوع من أنواع الصلب المختلفة لها قواعدها الخاصة بها ٠

صناعة صلب القضبان :

لصناعة الصلب المستخدم فى عمل قضبان الأوناش ينبغى أن تتوافر فيه التحاليل الآتية : ــ

ك	٥ ر٠ ــ ٧٣ر٠
م	٦ ر٠ ــ ١
س	١٥ر ــ ٣ ر
كب	أقل من ٠٥ر
فو	أقل من ٠٥٥ر

ومن التجارب العملية وجد أنه يمكن الحصول على صلب القضبان بالتحاليل السابقة بتوفير الظروف الآتية : ــ

١ ــ استعمال الحديد الزهر الذى يحتوى على عنصر السليكون حتى ٧ر٠٪ والمنجنيز أكثر من ٥ر١٪ ولا تزيد نسبة الكبريت به عن ٠٦ر/ ٠

٢ ــ يجب أن تكون كمية أكاسيد الحديد بالخبث مناسبة حتى يتكون جيدا وتزداد درجة ازالة الفوسفور والكبريت (ولتحقيق هذا

الغرض ، يضبط الخبث مرتين خلال النفخ حيث ترفع أنبوبة دفع الأكسجين) ٠

٣ ــ ارتفاع درجة حرارة الشحنة لدرجة كافية وبحيث لا تصل بالصلب الى درجة التسخين المفرط تلافيا لارتداد الفوسفور اليه ثانية ٠

ويجب أن نعلم أن ازالة الفوسفور من صلب القضبان ليست بالأمر الصعب فنادرا ما تزيد نسبته عن ٠٥ر٪ فى صبات هذا النوع من الصلب وتتميز هذه الصبات اما بسخونتها الشديدة (درجة حرارتها قد تصل الى ١٧١٥ درجة مئوية) مصحوبة باختزال حاد فى المنجنيز الى ٧ر٠ ــ ٠٤ر١٪ واما بانخفاض فى كمية أكاسيد الحديد فى الخبث (٧ر٤ ــ ٣ر٦٪) وفى هذه الحالة يتحتم ازالة الخبث الأولى ٠

ويتوقف النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى ٥٧ر٠ ــ ٦٣ر٪ ثم يستأنف فترة ما بعد النفخ حيث يكون استهلاك الأكسجين بمعدل ٢٠ ــ ٢٥ م٣ لكل ١ر٠٪ كربونا ٠

لتنظيم درجة حرارة الصلب حتى لا يصل الى درجة التسخين المفرط يضاف اليه كمية من الخام أثناء النفخ ويجب أن تكون درجة حرارته قبل نزع الأكسجين منه بين ١٦١٠ ــ ١٦٥٠ م° ٠

تضاف الاضافات النازعة للأكسجين الى الصلب فى البودقة وأهمها الألومونيوم الذى يضاف بمعدل ١٥٠ جم لكل طن من الصلب ويجب أن لا تزيد كمية الألومنيوم المضافة عن هذا الحد حتى نحافظ على سيولة الصلب ٠ ويوضح الجدول الآتى مقارنة بين نسبة تشبع صلب القضبان المصنوع بطرق مختلفة بالغازات ، تبعا لاختلاف الطرق ٠

طريقة صنع الصلب	النسبة المئوية للغازات		حجم غاز الهيدروجين فى ١٠٠ حجم (سم٣)
	ن ٢	أ ٢	
النفخ العلوى بالأكسجين	٠٠٣ر – ٠٠٨ر (فى المتوسط ٠٠٦ر)	٠٠٢٨ر	٣ر٣
الفرن المفتوح	٠٠٧ر	٠٠٢١ر	٣ر٨
صلب بسمر	٠١٨ر	٠٠٦٦ر	٤ر٩

وتتراوح قوة الشد النهائية لصلب القضبان المصنوع فى المحولات بين ٧٤٫٢ – ٩٧٫٤ كجم /مم ٢ ويمكن أخذ الرقم ٨٣٫٩ كجم / مم ٢ كمتوسط لها ٠ ويمكن وضع البيانات الخاصة بقوة الشد النهائيـــة فى جدول كالآتى : –

جدول (٣٤)

قوة الشد النهائية كجم / مم٢	النسبة المئوية فى عدد الصبات
٨٠	١٩٫٣
٨٠٫١ – ٨٥	٤٠
٨٥٫١ – ٩٠	٣٢٫٢
٩٠٫١ – ٩٥	٧٫٩
٩٥٫١	٠٫٦

وتبلغ متوسط الشـــد النهائية لصلب القضـــبان المصنوع فى محولات بسمر والذى له نفس التركيب الكيميائى حوالى ٨٨٫٨ كجم/مم٢

ويصل متوسط نقطة الخضوع لصـــــلب القضبان المصنوع فى المحولات الى ٤٧ كجم / مم ٢ ٠

من هـــذا نرى أن خواص المتـــانة لصـــلب القضبان المصنوع فى حالة الصلب المصنوع بطريقة النفخ السفلية بالهواء وذلك لاحتوائه على نتروجين أقل ٠ وتقل مطيلية صـــــلب المحولات بعض الشيء عن تلك لصلب بسمر ولكنهما يشتركان فى نفس الاستطالة التى تبلغ لكليهما حوالى ١١٪ ، وبمقارنة الاختزال فى مساحة مقطع كل منهما نجد أنهـــا تساوى ١٨٫٤٪ لصلب المحولات ، ١٦٫٧٪ لصلب بسمر ٠ أما قـــوة تحمل الصـــدمات لصـــلب المحولات فتفوق نظيرتهما لصلب بســـمر وبالأرقام يمكن مقارنتهما فى جدول (٣٥) ٠

جدول (٣٥)

قوة تحمل الصدمات	درجة الحرارة م°				
	÷ ٢٠	صفر	— ٢٠	— ٤٠	— ٦٠
متوسط	٢٫٢٣	١٫٨٢	١٫٤١	١٫١٥	١٫٠٨
الحدود التى تقع بينها	١٫٩٦ — ٢٫٧	١٫٤٣ — ٢٫٢٥	١٫١٧ — ١٫٦٤	١٫١ — ١٫٢٥	٠٫٨٧ — ١٫٦٢

ويصل متوسط الكفاية الانتاجية للقطاعات الخفيفة ـ قضبان (وزن المتر الطولى ٧ر٥٢ كجم) ٣ر٩٢ ٪

وترجع العيوب الظاهرية الموجودة فى صلب القضبان المصنوع فى المحولات الى أسباب متعددة وليست هذه العيوب من خواص هذا الصلب.

ويتأثر البنيان الماكروسكوبى لصلب القضبان الى حد بعيد بدرجة الحرارة ومعدل الصب (معدلات الصب والتبريد) وسيولة الصلب وأيضا على ارتفاع الصلب فى القوالب .

ولقد أعطت التجارب التى أجريت لصنع صلب القضبان بتطبيق طريقة النفخ العلوية بالأكسجين نتائج مرضية وكانت خواصه الميكانيكية حسنة .

وعليه فان المقاومة النهائية للصلب تتراوح بين ٨٤ ـ ٥ر٩٥ كجم/مم٢ اذا كان تركيبه الكيميائى كالآتى : ـ

٦٥ر٠ ـ ٧٦ر٠ ٪ ك ، ٦ ر٠ ـ ٧٨ر٠٪ م

١٨ر٠ ـ ٢٧ر٠ ٪ س ، ٠٢٣ر ـ ٠٤٥ر٠٪ كب

٠١٤ر٠ ـ ٠٤١٪ فو

وتتراوح الاستطالة النسبية له بين ٦ ـ ٩٪ واختبار الصلادة البرينلية ٢٢٩ ـ ٢٨٥ ، اختبارات الانحراف بالتصادم (بالرفع) ٤٧ ـ ٥٥ سم (التصادم الأولى) .

١٠ ـ صناعة الصلب الذى يحتوى على نسبة عالية من الكربون بكربنة الحديد الزهر المنصهر

تعتبر الطريقة المثلى لصناعة مثل هذا الصلب هى ايقاف النفخ عند نسبة الكربون المنشودة ثم زيادتها مباشرة باضافة الانثراسيت الحرارى أو فحم الكوك الى البودقة فى حالة زيادة النفخ قليلا .. وتمتاز هذه الطريقة بقصر زمن النفخ فيطول عمر البطانة وينخفض الاستهلاك النوعى للأكسجين كما أن كلا من الصلب والخبث يكون أقل عرضة للتأكسد ولهذا يقل استهلاك المواد النازعة للأكسجين (ويطول عمر البطانة) .

وبالرغم من هذا فقد نضطر أحيانا الى اعادة نفخ الصلب لسبب أو لآخر وعندئذ نلجأ الى اجراء عملية الكربنة عليه باضافة مصهور

الحديد الزهر . ويضاف الحديد الزهر من الخلاط مباشرة اذا كانت نسبة المنجنيز المسموح بها فى الصلب أعلى من ٥ر٠٪ أما اذا كان مطلوبا أن تكون نسبة المنجنيز أقل من ٥ر٠٪ (كما فى صلب العدد والآلات) فانه فى هذه الحالة يعاد نفخ الصلب حتى تصل نسبة الكربون الى ٠٥ر٠ - ٠٧ر٪ وعندئذ يتكون حديد زهر خالص منخفض المنجنيز يصهر فى أفران الدست أو واسطة حديد زهر يعالج ، بالاكسجين فى البودقة بالاستعانة بالمواد المخبثة .

ولصناعة الفولاذ الذى يحتوى على نسبة منخفضة من المنجنيز يزال الخبث الأولى المتكون تماما ثم يضبط الخبث الجديد بحيث يكون مؤكسدا حتى نتلافى اختزال المنجنيز .

عند كربنة الصلب بواسطة الحديد الزهر من الخلاط مباشرة يوقف نفخ الاكسجين عندما تصل نسبة الكربون الى حوالى ٠٨ر٪ ويستحسن أخذ عينة من الصلب لتحديد كل من الكربون والمنجنيز بدقة وتقاس درجة الحرارة بواسطة الازدواج الحرارى .

عند أخذ العينة يزال ٪ الخبث المكون ثم يضاف الجير بعد ذلك وتسخن كمية الحديد الزهر بحذر حتى نحول دون حدوث أى تفاعل شديد قد يحدث ، داخل المحول .

بعد اضافة الحديد الزهر تؤخذ عينة من المعدن وتقاس درجة الحرارة ثم تضبط التحاليل باضافة الاضافات كالفرومنجنيز الذى يضاف الى المحول والفحم ذى الأحجام الصغيرة الذى يضاف فى البودقة .

وفيما يلى طريقة حساب كمية الحديد الزهر التى تضاف الى الصلب لاجراء عملية الكربنة .

يشحن المحول بثلاثين طنا من الحديد الزهر ويفرض أن الكفاية الانتاجية له = ٥ر٩١٪ فان :

تحاليل الصلب المطلوب هى : - ٤٥ر٪ كربونا ، ٧ر٪ منجنيزا

وزن الصلب الناتج بالمحول فى نهاية النفخ = ٥ر٢٧ طنا .

تحاليل الحديد الزهر بالخلاط : - ٢ر٤٪ كربونا ، ٨ر١ منجنيزا ٨ر٠٪ فوسفورا ، ٠٥ر٠٪ كبريتا

التركيب الكيميائى للصلب قبل اجراء الكربنة عليه هو : -
٠٨ر٪ كربونا ، ٤٢ر٪ منجنيزا ، ٠١٨ر٪ فوسفورا ، ٠٣٩ر٪ كبريتا

كمية الكربون المطلوب اضافتها = ٤٥ر − ٠٨ر = ٣٧ر٪
أو كمية الكربون = ١٠ر × ٥ر٢٧ × ٣٧ر٠ = ١٠٢ر٠ طنا
ومن واقع التجارب وجد أن وزن الكربون المستفاد فعلا من الحديد الزهر = ٧٠٪

اذا : وزن الكربون المطلوب فعلا = $\frac{١٠٢ \times ١٠٠}{٧٠}$ = ١٤٦ر٠ طنا

اذا : وزن الحديد المطلوب اضافته للحصول على ١٤٦ كجم = $\frac{١٤٦ \times ١٠٠}{٤ر٢}$ = ٣٤٧٠ كجم

ولكن هـــذه الكمية تحوى على مقدار من المنجنيز = ٠١ر × ٣٤٧٠ × ٨ر١ = ٥ر٦٢ كجم

أو بنسبة فى الصلب = $\frac{٦٢٥}{١٠}$ $\frac{١٠٠}{٢٧٥٠٠}$ = ٢٣ر٠ ٪

وتصبح نسبة المنجنيز فى الصلب = ٤٢ر٠ + ٢٣ر٠ = ٦٥ر٠٪
ويصبح التصحيح لهذه النسبة لازما ٠

يحتوى الحديد الزهر كمية من الفوسفور مناظرة لنسبة = $\frac{٠١ر \times ٣٤٧٠ \times ٠٨ر \times ١٠٠}{٢٧٥٠٠}$ = ٠١ر٠٪

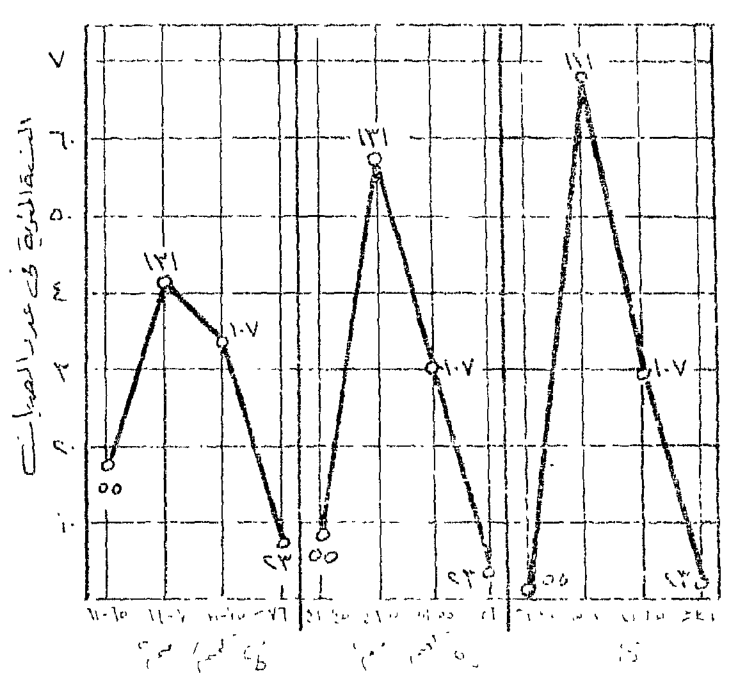
١١ ـ صناعة الصلب ذى العناصر السبائكية المنخفضة والمستخدم فى تسليح المبانى

ك	٢ر ـ ٢٩ر
م	٢ر١ ـ ٦ ر١
س	٦ر ـ ٩ ر
كب	أقل من ٠٥ر٠
فو	أقل من ٠٥ر٠

يصنع هذا النوع من الصـــلب بســـهولة بنفخ الحديد الزهـر بالأكسجين من أعلا للحصول على نسبة المنجنيز المطلوبة ويضاف الـيه الفيرومنجنيز وهو فى المحول وتحسب الكمية المستفادة من المنجنيز على أنها حوالى ٧٠ ـ ٧٥٪ منه فقط ٠

ويشــــترط فى الفيرومنجنيز المضـــاف أن يكون كنلا (أى عير مسحوق) ٠

وبعد اضافة كميـــة الفيرومنجنيز يجب تحريك المحول مرتين او ثلاث ثم يثبت فى وضع رأسى لرفع نسبة السليكون الى النسبة المطلوبة ونضاف الى البودقة الكمية اللازمة من الفيروسليكون الذى يحتوى على ٤٥٪ أو ٧٥٪ منه سليكونا ثم يضاف الالومونيوم بعد ذلك فى البودقة أيضا بواقع ٥٠٠ جم لكل طن من الصلب ٠



شكل (٥٢) : تغير الخواص الميكانيكية عند اجراء تجارب الشد على حديد التسليح المصنوع فى المحول ـ درجته

ويحتوى هذا النوع من الصلب على بعض الغازات بكميات متفاوتة فنجد أن نسبة الاكسجين به ٠٠٢ر٠ ـ ٠٠٤ر٠٪ (فى المتوسط ٠٠٣٥ر٠٪) ٠٠٧ر٠ - ٠٠٩٥ر٠٪ نتروجينا (فى المتوسط ٠٠٨ر٠٪) ٢ر٢ ـ ٨ر٣ جم٣ من الهيدروجين فى كل ١٠٠ جم (فى المتوسط ٢ر٣ سم٣ لكل ١٠٠ جم) ٠

ونرى فى شكل (٥٢) التذبذب فى الخواص الميكانيكية لحديد التسليح المشكل والمصنوع فى المحولات ٠

التركيب الكيميائى لهذا النوع من الصلب يبين فى جدول ٣٦ ٠

جدول (٣٦)

نوع الصلب	النسبة المئوية للعناصر				
	كب	م	س	كب	فو
مستخدم فى صناعة القضبان المستديرة	لغاية ١ر٠	٣٥ر٠ ـ ٥٥ر٠	٠٣ر٠	٠٤ر	٠٤ر
مستخدم فى صناعة أسلاك البرق	لغاية ١١ر٠	لغاية ٥ر٠	آثار	٠٥ر	٠٤٥ر

صناعة الصلب الفوار المستخدم لتصنيع القضبان وأسلاك البرق :

ولهذا السبب فانه من الضرورى ألا تزيد نسبة الكبريت بمصهور الصلب عن ٠٣٧ر٠٪ وقد تصادفنا أحيانا بعض العقبات فى سبيل الحصول على هذا النوع من الصلب بنسبة منخفضة من الكبريت ٠

وعند اجراء الاختبارات الميكانيكية على أسلاك البرق المصنوعة من صلب الافران المفتوحة وقطرها (٥ر٦ مم) يجب أن تتحمل هذه الأسلاك ما لا يقل عن عشرة ثنيات دون انهيار ، كما يجب أن لا تقل مقاومتها للشد عن ٣٢ كجم / مم ٢ ولا تزيد مقاومتها الكهربائية عن ١٣٣ر٠ أوم لكل ١ مم طولى منها ، ١ م٢ من مساحتها ٠

وتفى أسلاك البرق المدرفلة من صلب المحولات بكل المواصفات السابقة ويمكنها تحمل اختبارات المنى حتى ٩ ــ ١٥ ثنية قبل ان تنكسر ٠

وتبلغ قوة التحمل النهائية ٩ر٣٣ ــ ٥ر٤١ كجم/ مم٢ وتكون عادة ٣٥ ــ ٣٩ كجم/مم٢ (الحوالى ٧ر٦٤٪ من مجموع الصبات) أما المقاومة لسريان الكهرباء فتبلغ ١٠٦ ر ــ ١٣٢ ر أوم وغالبا ما يصل هذا الرقم لمعظم الصبات الى ١١١ر٠ ــ ١٢٠ر أوم ٠

جدول ٣٧

رقم الصلب	نسبة العناصر			
	ك	م	لا يزيد عن	
			كب	فو
١	٠٫٠٩ – ٠٫١٤	٠٫٠٠٣ – ٠٫٠٥	٠٫٠٥	٠٫٠٤٥
٢	٠٫١٤ – ٠٫٢٢	٠٫٠٠٣ – ٠٫٠٥	٠٫٠٥	٠٫٠٤٥

جودة الصلب الفوار المصنوع فى المحولات

يحظى الصلب الفوار المصنوع فى المحولات بطريقة النفخ العلوية بالاكسجين بتطبيقات واسعة فى حياتنا العملية فمنه تصنع جميع أنواع القطاعات المختلفه وألواح الصاج والكتل نصف المشكلة والتركيب الكيميائى لصلب المحولات والأفران المفتوحة مبين فى جدول ٣٧ ٠

ويمكن معرفة كمية الغازات المتكونة فى هذا الصلب الفوار من جدول ٥٠ (حيث أن درجة نقاء الاكسجين ٩٨٫٦٪) ٠

جدول (٣٨)

نوع الصلب	٪ العنصر		نسبة الهيدروجين
	أ ٢	ن ٢	سم ٣/١٠٠ جم
١	٠٫٠٠٣ – ٠٫٠٠٧	٠٫٠٠٤ – ٠٫٠٠٦	١٫٨ – ٣٫٦
٢	٠٫٠٠٣ – ٠٫٠٠٦	٠٫٠٠٣٨ – ٠٫٠٠٦	١٫٣ – ٣٫٢
٣	٠٫٠٠٦ – ٠٫٠٢	٠٫٠٠٤٥ – ٠٫٠٠٨٥	٠٫٥ – ٧٫٧

من جدول (٣٨) يتضح لنا أن صلب المحولات الفوار ليس أقل تشبعا بالغازات من صلب الأفران المفتوحة ٠

ومن الطبيعى أن ترتبط كمية النتروجين الموجودة بالصلب بدرجة نقاء الأكسجين المدفوع الى المحول كما فى جدول (٣٩) ٠

جدول (٣٩)

درجه نقاوة الاكسجين ٪	النسبة المئويه للنتروجين في الصلب
حتى ٩٠	٠٠٦٢ر ـ ٠٠٩٨ر
١ر٩٠ ـ ٩٢	٠٠٦٥ر ـ ٠٠٩٢ر
١ر٩٢ ـ ٩٤	٠٠٥٦ر ـ ٠٠٧٢ر
١ر٩٤ ـ ٩٦	٠٠٥٥ر ـ ٠٠٧٠ر

أى ان كمية النتروجين الموجودة بالصلب تنخفض بارتفاع درجه نقاوة الاكسجين حتى اذا ما وصلت درجة النقاوة الى ٤ر٩٩٪ انخفضت نسبه النتروجين في الصلب الى اقل من ٠٠٢٥ر٪ ٠

من الصعب الحصول على صلب يحتوى على نتروجين نسبته اقل من ٠٠٨ر٪ في المتوسط باستعمال اكسجين درجه نقائه ٩٢٪ ٠

وتتأثر خواص الصلب كثيرا بالتغير فى نسبة النتروجين فالتغيير فى حدود ± ٠٠١ر٪ يؤثر على سلوك الصلب المستخدم فى أغراض التشكيل المختلفة كالبثق والسحب خاصة اذا كان المقطع أقل من ١ مم ٢ ٠

وتعطى القطاعات المشكلة المصنوعة من الصلب الفوار مقاومة للشد تفي بالمواصفات القياسية والفنية التي تتوافر فى صلب الأفران المفتوحة ٠

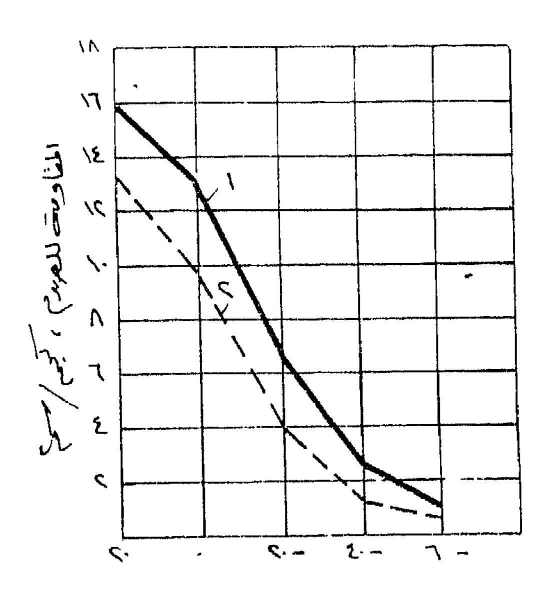
يستخدم الصلب المصنوع فى المحولات فى شتى الأغراض الصناعية كالعوارض والكمرات المجرى والمرافق (الكيعان) وألواح الصاج ٠ ومقاومة هذا النوع من الصلب للصدمات عند درجات الحراره المختلفة + ٢٠ درجة مئوية ، صفر°م ، ـ ٢٠°م ، ـ ٤٠°م ، ٦٠°م اكبر من الصلب المصنوع في الافران المفتوحة المستخدم في نفس الأغراض (كما فى شكل ٥٣) ٠

ومن الجدول يمكن مقارنة مقاومة الصدمات (كجم / سم٢) لكتله أبعادها ٨٠ × ٨٠ من صلب المحولات ومن صلب الأفران المفتوحه درجه ٣ عند درجات الحرارة المختلفة ٠

جدول (٤٠)

نوع الصلب	درجه الحرارة م٥				
	+ ٢٠	صفر	– ٢٠	– ٤٠	– ٦٠
صلب المحولات	٨ – ١٨	٤ر٩ – ٤ر١٦	١ر٢ – ٥ر٦	٠ر٥ – ٤ر١	٦ر – ٦ر١
صلب الأفران المفتوحة	٦ر٨ – ١ر١٩	٢ر٧ – ١٩	٨ر – ٨ر١٠	١ر٦ – ١	٥ر – ٩ر

ولعل هذه احـــــدى سيادة على مقدرة طريقـــة النفخ العلويه بالاكسجين على انتاج الجديد من أنواع الصلب المختلفه وفي الوقت نفسه فان الخواص الميكانيكية وخواص التشغيل لها تضارع نظيرتهـــا لصلب الافران المفتوحة كما أن صلب المحولات يمتاز بسهولة لحامه بالكهرباء وبمكن سحبه من القضبان المدلفنة قطر ٥ر٦ مم الى أسلاك مختلفة الأبعاد والأقطار حتى أقل من ١ مم ، دون الحاجة الى عمليات تخمير وسيطة .



شكل (٥٣) : مقاومة الصدم لصلب درجه ٣ :

١ – صلب المحولات عند درجات حرارة مختلفه

٢ – صلب الافران المفتوحة

١٣ ـ الموازنة المادية والحرارية فى طريقة النفخ العلوية بالاكسجين

لسهوله الحسابات نعتبر الموازنه الماديه لـ ١٠٠ كجم من سحنة الحديد الزهر وقد وضعت البيانات الأوليه اللازمة لحساب الموازنة المادية فى الجدول الآتى : ـ

جدول (٤١)

	النسبه المئويه للعناصر الموجودة بالحديد الزهر				
	ك	م	س	كب	فو
الحديد الزهر	٤ر٣	١ر٦٩	ر٧٧	ر٠٥٥	ر٠٨٣
الصلب الناتج	ر١٢	ر ٥	آثار	ر٠٤٣	ر٠٢٩
نسبة العناصر المتأكسدة	٤ر٣١	ر٧٩	ر٧٧	ر٠١٢	ر٠٥٤

ويضاف لمبه من الخام بنسبه ٦٪ كما يضاف البوكسيت بواقع ١٪ ولنفرض ما يأتى : ٩٠٪ من كمية الكربون الكليه تتأكسد الى اول أكسيد الكربون . ١٠٪ الى ثانى أكسيد الكربون . كمية الفاقد من الحديد فى الخبث بنسبه ١ر٥٪ منها ١٪ يتحول الى ح أ والباقى الى $ح_٢$ أ٣ .

كمية الفاقد من الحديد فى الغبار (الدخان) ١٪ .

وزن البطانه المستهلكة تعادل ٢٪ من وزن الحديد الزهر .

تركيب البطانة : ٦ر٦٩٪ أكسيد ماغنسيوم ، ١٠٪ أكسيد كروم

وجدول ٤٢ يعطى تحاليل المواد المستهلكة فى عملية النفخ : ـ

جدول (٤٢)

المواد	النسبة المئوية للمركبات							
	س أ ٢	ح ٢ أ ٣	ح أ	كا أ	ع ٢ أ ٣	كب	ت أ ٢	مغ أ
الجير	ر ٨	—	—	٩٥ر٣٤	١ر٠٠	ر١٦٥	١ر٩٢	—
الخام	١١ر ٧	٨٣ر١٧	١ر٢٥	ر٩٥	١ر٤٦	ر٠٢٣	—	ر٣٩
البوكسيت	٢٣ر٤٢	١٠ر٣٥	—	—	٤٧ر ٤	ر ١٤	—	

وعندما نفرض ان الكبريت يزال من الصلب الناتج على هيئة كبريتيد المنجنيز الذى يتحول الى كبريتيد الكالسيوم كا كب ، فيزال ٠١٢ر٪ من الكبريت ويتحد هذا بكمية من المنجنيز

= ٠١٢ر ٪ × ٥٥ / ٣٢ = ٠٢١ر كجم

حيث : ٥٥ = الوزن الذرى للمنجنيز •

، ٣٢ = الوزن الذرى للكبريت

وزن المتبقى من المنجنيز = ٧٩ر – ٠٢١ر = ٧٦٩ر كجم

ويتحد هذه الكمية من المنجنيز بالأكسجين •

حساب وزن الأكسجين اللازم لأكسدة الحديد والشوائب الموجودة بالحديد الزهر

يتأكسد ٣١ر٤ كجم من الكربون فى كل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر ، ٩٠٪ منها يتحول الى أول أكسيد الكربون :

= ٩٠ر × ٣١ر٤ = ٣٫٨٧٩ كجم

و ١٠٪ منها يتحول الى ثانى أكسيد الكربون :

= ١ر٠ × ٣١ر٤ = ٤٣١ر كجم

وزن الأكسجين اللازم لأكسدة الكربون الى أول اكسيد الكربون :

= ٣٫٨٧٩ × ١٦ / ١٢ = ١٧ر٥ كجم

حيث :

١٦ = الوزن الذرى للأكسجين

١٢ = الوزن الذرى للكربون

ويكون وزن أول أكسيد الكربون = ١٧ر٥ + ٣٫٨٧٦ = ٦٫٠٤٩ كجم

وسوف نطبق هذه الطريقة لحساب أوزان الاكسجين اللازمة لاكسدة الشوائب الأخرى وجدول (٤٣) يعطى البيانات الخاصة بأكسدة الشوائب الأخرى •

جدول (٤٣)

النسبة المئوية	القانون الكيميائى للمركبات المتكونة	وزن الأكسجين المطلوب · كجم	وزن المركبات المتكونة · كجم
ك ٣ر٨٧٩	ك أ	٣ر٨٧٩ × $\frac{١٦}{١٢}$ = ٥ر١٧	٩ر٠٤٩
ك ٠ر٤٣١	ك أ ٢	٠ر٤٣١ × $\frac{٣٢}{١٢}$ = ١ر١٥	١ر٥٨١
س ٠ر٧٧	س أ ٢	٠ر٧٧ $\frac{٣٢}{٢٨}$ = ٨٨ر	١ر٦٥٠
م ٧٦٩ر	م أ	٠ر٧٦٩ × $\frac{١٦}{٥٥}$ = ٠ر٢٢٣	٠ر٩٩٢
فو ٠٥٤ر	فو ٢ ء	٠٥٤ر × $\frac{٨٠}{٦٢}$ = ٠ر٠٧	٠ر١٢٤
ح ٥ ر٠	ح ٢ ٣	٥ر × $\frac{٤٨}{١١٢}$ = ٠ر٢١٥	٠ر٧١٥
ح ٠ ر١	ح أ	١ × $\frac{١٦}{٥٦}$ = ٠ر٢٨٦	١ر٢٨٦
ح ٠ ر١	ح ٢ ٣'	١ × $\frac{٤٨}{١١٢}$ = ٠ر٤٣	١ر ٤٣
م ٠ر٠٢١	٠ كب	—	٠ر٠٣٣
الضائع ٠ر٤٢٤		٨ر٤٢٤	

وتحليل الاكسجين فى المحول كما يأتى : ٩٨٫٦٪ اكسجينا ، ١٫٤٪ نتروجينا ٠

اذا : كمية الأكسجين اللازمة × $\frac{٨٫٤٢٤ \times ١٠٠}{٩٨٫٦}$ = ٨٫٥٤٠ كجم

أو $\frac{٨٫٥٤}{١٫٤٣}$ = ٥٫٩٧ م٣

حيث : ١٫٤٣ = وزن المتر المكعب من الأكسجين

ويحتوى ٨٫٥٤ كجم من الأكسجين المنفوخ على ٨٫٤٢ كجم من الأكسجين ، ١٢ر كجم من النتروجين ٠

كما أن جزءا من الأكسجين يحصل عليه من خام الحديد اذ يختزل ٩٠٪ من الخام الى عنصر الحديد والباقى (١٠٪) الى أكسيد الحديدوز فاذا أضيف ٦ كجم من الخام الذى يحتوى على ٨٣٫١٧ / ح٢ أ ٣ فان ٩٠٪ منها تختزل وتعطى كمية من الأكسجين :

= $\frac{٤٨ \times ٨٣٫١٧ \times ٠٫٩ \times ٦}{١٠٠ \times ١٦٠}$ = ١٫٣٤ كجم

والباقى الذى يختزل الى أكسيد الحديدوز يعطى كمية من الأكسجين :

= $\frac{٦ \times ٠٫١ \times ٨٣٫١٧ \times ١٦}{١٠٠ \times ١٦٠}$ = ٠٫٠٥ كجم

اذا : الوزن الكلى للأكسجين = ١٫٣٤ + ٠٫٠٥ = ١٫٣٩ كجم

وبافتراض أن المستعمل فعلا من هذا الأكسجين يعادل ٩٠٪ منه

= ٩٠ر × ٩٧ر = ٠٫٨٧ م٣

اذا : كمية الأكسجين اللازمة = ٥٫٩٧ – ٨٧ر = ٥٫١ م٣

أى أن الطن من الحديد الزهر يتطلب ٥١ مترا مكعبا من الأكسجين ٠

حساب وزن الجير :

ربط السليكا س أ٢ بأكسيد الكالسيوم لتكوين سليكات الكالسيوم ٢كا أ ٠ س أ٢ يستلزم ١١٢ كجم من أكسيد الكالسيوم لكل ٦٠ كجم من

السليكا (١١٢ = ضعف الوزن الجزيئى لأكسيد ، ٦٠ = الوزن الجزيئى للسليكا) أى أن ١ كجم من السليكا يلزمه $\frac{١١٢}{٦٠}$ كجم من أكسيد الكالسيوم .

وفى حالتنا هذه نجد أن وزن السليكا المتكونة من أكسدة السليكون الموجود بالحديد الزهر = ١ر٦٥ كجم .

ولتخبيث هذه الكمية فان وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لهذه العملية

$$= ١ر٦٥ \times \frac{١١٢}{٦٠} = ٣ر٠٨ \text{ كجم}$$

ويحتوى الجير على ٨ر٠ كجم من السليكا يلزم لها وزنا من أكسيد الكالسيوم $= ٨ر٠ \times \frac{١١٢}{٦٠} = ١ر٤٩٥$ كجم

اذا : وزن أكسيد الكالسيوم المتبقى فى الجير منفردا =

= ٩٥ر٣٤٠ ــ ١ر٤٩٥ = ٩٣ر٨٤٥ كجم

ونحسب كمية أكسيد الكالسيوم اللازمة للاتحاد بالسليكا الموجوده بخام الحديد كما يأتى :

وزن الخام المضاف ٦ كجم ، يحتوى الخام على ١١ر٧٪ منه سليكا .

أى أن وزن السليكا به = ٠١ر × ٦ × ١١ر٧ = ٧ر كجم

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم للاتحاد بهذه السليكا

$$= ٧ر \times \frac{١١٢}{٦٠} = ١ر٣١ \text{ كجم}$$

ويحتوى البوكسيت على كمية من السليكا وزنها :

وزن السليكا الموجودة بالبوكسيت = ٠١ر × ١ × ٢٣ر٤٢ = ٢٣ر٠ كجم

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لها $= ٢٣ر \times \frac{١١٢}{٦٠} = ٤٣ر٠$ كجم

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لتخبيث خامس أكسيد الفوسفور الى (كا أ)٤ فو٢ أ٥

= ١٢٤ر٠ × ٢٢٤ / ١٤٢ = ١٩٦ر٠ كجم

حيث :

٢٢٤ = ٤ × الوزن الجزيئى لأكسيد الكالسيوم

١٤٢ = الوزن الجزيئى لخامس أكسيد الفوسفور ٠

وزن أكسيد الكالسيوم اللازم لتحويل كبريتيد المنجنيز الى كبريتيد الكالسيوم ٠

= ٠٣٣ر٠ × ٥٦ / ٨٧ = ٠٢١ر٠ كجم

حيث :

٥٦ = الوزن الجزيئى لاكسيد الكالسيوم

٨٧ = الوزن الجزيئى لكبريتيد المنجنيز

اذا : الوزن الكلى لأكسيد الكالسيوم اللازم =

= ٠٨ر٣ + ٣١ر١ + ٠٤٣ر٠ + ١٩٦ر٠ + ٠٢١ر٠ = ٠٣٧ر٥ كجم

ويجب مراعاة أن تكون هناك وفرة من أكسيد الكالسيوم فى الخبث ولذلك فان الكمية اللازمة من أكسيد الكالسيوم قد قدرت بستة كيلو جرامات ٠

اذا : وزن الجير بالتحاليل السابقة الذى يجب اضافته =

= ١٠٠ × ٦ / ٨٤٥ر٩٣ = ٤ر٦ كجم

حساب مركبات الجير :

س أ ٢ : ٠١ × ٤ر٦ × ٨ر٠ = ٠٥١ر٠ كجم

لو ٢ أ ٣ : ٠١ × ٤ر٦ × ١ = ٠٦٤ر٠ كجم

كا أ : ٠١ر × ٤ر٦ × ٣٤ر٩٥ = ١٠٠ر٦

مركبات البطانة المستهلكة :

مغأ : ر٠١ × ٢ × ٦٩ر٦ = ١ر٣٨ كجم

كو$_2$أ$_3$: ر٠١ × ٢ × ١٠ = ٠ر٢ كجم

مركبات خام الحديد :

يختزل ٩٠٪ من خام أكسيد الحديديك ح$_2$أ$_3$ الى الحديد ويختزل الباقى (١٠٪) الى ح أ

وزن الحديد المختزل = (٦ × ر٩ × ٨٣ر١٧ × ١١٢) / (١٠٠ × ١٦٠) = ٣ر١٦ كحم

حيث :

٦ كجم = وزن الخام المضاف

ر٩ كجم = ٩٠٪ من الاختزال

٨٣ر١٧٪ = نسبة أكسيد الحديديك فى الخام .

١١٢ / ١٦٠ = وزن الحديد الموجود فى ١ كجم من أكسيد الحديديك .

وزن أكسيد الحديدوز ح أ الناتج من اختزال ح$_2$أ$_3$ والتى تتحول الى الخبث

وزن الحديد = (٦ × ر١ × ٨٣ر١٧ × × ١٢) / (١٠٠ × ١٦٠) = ٠ر٣٥ كجم

وزن ح أ = ٠ر٣٥ × ٧٢ / ٥٦ = ٠ر٤٥ كجم

س أ$_2$ ٠ر٧ كجم

لو$_2$أ$_3$: ر٠١ × ١ر٤٦ × ٦ = ٠ر٨٨ كجم

كا أ : ر٠١ × ر٩٥ × ٦ = ٠ر٠٥٧ كجم

مركبات البوكسيت :

س أ$_2$: ٠ر٢٣ كجم

لو$_2$أ$_3$: ر٠١ × ٤٧ر٤ × ١ = ر٤٧٤ كجم

ويمكن وضع التركيب الكيميائي للخبث في جدول كالآتى :

جدول (٤٤)

المكونات	من تأكسد الحديد والشوائب الموجودة فى الحديد الزهر	من خام الحديد	من الجير	من البوكسيت	من البطانة	المجموع الكلى كجم	النسبة المئوية
س أ٢	١ر٦٥	٧ر	٠٥١ر	٢٣ر	—	٢ر٦٣١	١٨ر٢
كا أ	—	٠٥٧ر	٦	—	—	٦ر٠٥٧	٤٢
لو٢ أ٣	—	٠٨٨ر	٠٦٤ر	٤٧٤ر	—	٦٢٦ر	٤ر٢
ح أ	١ر٢٨٦	٠ر٤٥	—	—	—	١ر٧٢٦	١٢
ح٢ أ٣	٧١٥ر	—	—	—	—	٧١٥ر	٤ر٩
م أ	٩٩٢ر	—	—	—	—	٩٩٢ر	٦ر٩
مغ أ	—	—	—	—	١ر٣٨	١ر٣٨٠	٩ر٥
كر٢ أ٣	—	—	—	—	٢ر	٠ر٢	١ر٤
فو٢ أ٥	٠ر١٢٤	—	—	—	—	١٢٤ر	٠ر٩
						١٤ر٤٦١	١٠٠٪

تركيب الغازات المتصاعدة من المحول

وزن ثانى أكسيد الكربون المتكون ١ر٥٨١ كجم ، وزنه الجزيئى = ٤٤

اذا : ١ر٥٨١ كجم من ك أ ٢ يحتوى على $\frac{١ر٥٨١}{٤٤}$ = ٠ر٠٣٦ جزىء كيلو جرام

ولكن الجزىء الكيلوجرامى من أى غاز يشغل حيزا قدره ٢٢ر٤م٣

اذا : تركيب الغازات حجما لكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر =

ك أ ٢ : ٠ر٠٣٦ × ٢٢ر٤ = ٠ر٨١م٣   ١٠٪

ك أ : $\frac{٩ر٠٤٩}{٢٨}$ × ٢٢ر٤ = ٧ر٢٤م٣   ٨٨ر٨٪

ن ٢ : $\frac{٠ر١٢}{٢٨}$ × ٢٢ر٤ = ٠ر٠٩٦م٣   ١ر٢٪

المجموع   ٨ر١٤٦م٣   ١٠٠٪

وعمليا تحتوى الغازات المتصاعدة من المحول على كميـــة معينة من الأكسجين والنتروجين الناتجين من تحلل الرطوبة الموجودة بالمواد أو التى تدخل المحول مع الأكسجين أو التى تتسرب خلال أنبوبة تمويل الاكسجين .

حساب وزن الصلب الناتج

تحسب أوزان الحديد الناتج عن اختزال أكسيد الحـديد والخـام والبوكسيت كما يلى :

يحتوى الخام على ٨٣ر١٧٪ ح ٢ أ ٣ (يهمل الحديد الموجود فى أكسيد الحديدوز) ويضاف الخام بمعدل ٦ كجم :

اذا : وزن ح ٢ أ ٣ = ٠ر٠١ × ٨٣ر١٧ × ٦ = ٤ر٩٨ كجم

ويحتوى البوكسيت على ١٠ر٣٥٪ من ح ٢ أ ٣ وتكون اضافته بمعدل ١ كجم

اذا : وزن ح ٢ أ ٣ = ٠ر٠١ × ١٠ر٣٥ × ١ = ٠ر١ كجم

اذا : وزن ح ٢ أ ٣ الكلى = ٤ر٩٨ + ٠ر١ = ٥ر٠٨ كجم

كمية الحديد الموجود فى ح ٢ أ ٣ = ٥ر٠٨ × $\frac{١١٢}{١٦٠}$ = ٣ر٥٦ كجم

وزن الحديد المختزل (٩٠٪ منه) = ٣ر٥٦ × ٠ر٩ = ٣ر٢ كجم

ويتصيد الخبث بعضا من الحديد .. ولقد وجد عمليا أن كمية الحديد المتصيدة فى الخبث النهائى الناتج بهذه الطريقة (طريقة النفخ العلوبــة بالأكسجين) تتغير من صبة لأخرى وتتوقف على لزوجة الخبث ومتوسط هذه الكمية فى خمسين تجربة ٦ر٩٪ من وزن الخبث . ويبلغ وزن الخبث الناتج ١٤ر٤٦١ كجم من الحديد الزهر .

اذا : الكل ١٠٠ كجم من الحديد الزهر يفقد كمية من الحديد =

= ٠ر٠١ × ٦ر٩ × ١٤ر٤٦١ = ١ كجم

وزن العناصر الضائعة = ٨ر٤٢٤ كجم

اذا : وزن الصلب الناتج = ١٠٠ + ٣ر٢ ــ ٨ر٤٢٤ ــ ١ = ٩٣ر٧٧٦ كجم

ويمكن تنسيق الموازنة المادية فى جدول كما يأتى :

جدول (٤٥)

الشحنة / كجم		وزن الناتج / كجم	
حديد زهر	١٠٠ر٠٠	صلب منصهر	٩٣ر٧٧٦
أكسجين	٨ر٥٤	غازات	١٠ر٤٦١
خام الحديد	٦ر٠٠	خبث	١٤ر٧٤٠
جير	٦ر٤	حديد ضائع فى الخبث	١ر٠٠٠
البوكسيت	١ر٠٠	مقذوفات ، حديد ضائع كأبخرة داكنة مع الغازات المتصاعدة .	
بطانة	٢ر٠٠		٣ر٩٦٣
المجموع الكلى	١٢٣ر٩٤	ـ	١٢٣ر٩٤

الموازنة الحرارية

للسهولة نعتبر ١٠٠ كجم من شحنة الحديد الزهر أساسا فى حساباتنا للموازنة الحرارية ٠

الحرارة الداخلة :

١ ـ كمية الحرارة الداخلة مع الحديد الزهر :

= ١٠٠ (١٧٨ر٠ × ١٢٠٠ + ٥٢ + ٢٥ر٠ (١٢٥٠ ـ ١٢٠٠))

= ٢٧٨٥٠ سعرا

حيث :

١٢٠٠ = درجة انصهار الحديد الزهر ، درجة مئوية

١٧٨ر = السعة الحرارية للحديد الزهر قبل نقطة الانصهار ، سعرا / كجم °م

٥٢ = الحرارة الكامنة للانصهار

٢٥ر٠ = السعة الحرارية للحديد الزهر المنصهر سعرا / كجم °م

١٢٥٠ = درجة حرارة الحديد الزهر عند صبه فى المحول °م

٢ ـ كمية الحرارة الناتجة عن تيار الأكسجين :

يدفع الأكسجين الى المحول عند درجة حرارة ٣٠ درجة مئوية ٠ والسعة الحرارية للاكسجين عند هذه الدرجة = ٢٣ر٠ سعرا / كجم°م

اذا : كمية الحرارة الداخلة مع الأكسجين = ٥٤ر٨ × ٣٠ × ٢٣ر٠ = ٥٩ سعرا

٣ ـ كمية الحرارة الناتجة من احتراق الكربون :

عند احتراق ١ كجم من الكربون الى أول أكسيد الكربون تبعث ٢٤٥٢ سعرا

عند احتراق ١ كجم من الكربون الى ثانى أكسيد الكربون تبعث ٨١٣٧ سعرا

اذا : ٨٧٩ر٣ × ٢٤٥٢ + ٤٣١ر٠ × ٨١٣٧ = ١٣٠٠٠ سعرا

٤ ـ كمية الحرارة الناتجة عن احتراق السليكون الى السليكا ثم اتحاد السليكا بأكسيد الكالسيوم لتكوين ٢ كاأ٠سأ٢

وتتصاعد نتيجة لتأكسد وتخبيث ١ كجم من السيلكون كمية من الحرارة = ٧٤٢٨ سعرا

٧٧ر٠ × ٧٤٢٨ = ٥٧٢٠ سعرا

٥ ـ كمية الحرارة الناتجة عن تأكسد الفوسفور وتخبثه لتكوين (كاأ) ؛ فو ٢أ٥ وتتصاعد كمية من الحرارة لكل ١ كجم من الفوسفور = ٨٥٥٠ سعرا ٠

اذا ٠٥٤ر٠ × ٨٥٥٠ = ٤٦٢ سعرا

٦ ـ كمية الحرارة المتصاعدة عن تأكسد المنجنيز :

= ٧٦٩ر٠ × ١٧٥٨ = ١٣٥٠ سعرا

٧ ـ كمية الحرارة المنبعثة نتيجة لتأكسد الحديد الضائع فى الخبث :

عندما يتأكسد ١ كجم من الحديد الى ح أ تنطلق كمية من الحراره = ١١٩١ سعرا

عندما يتأكسد ١ كجم من الحديد الى ح ٢ أ ٣ تنطلق كمية من الحرارة = ٢٠٧٦ سعرا

اذا ، كمية الحرارة = ١ × ١١٩١ + ٥ر٠ × ١٧٦٩ = ٢٠٧٦ سعرا

٨ ـ كمية الحرارة الناتجة من تأكسد الحديد الذى ينطلق مع غاز المحول على هيئة   يقدر الحديد الضائع فى الغبار مع الغازات بحوالى ١٪ وعندما تتأكسد هذه الكمية الى   الذى يعتبر أهم مكونات الغبار المتصاعد من المحول تنبعث كمية من الحرارة = ١ × ١٧٦٩ = ١٧٦٩ سعرا ٠

الحرارة المستنفذه

١ ـ الحرارة الموجودة بالصلب المنصهر

= ٧٧٦ر٩٣(١٦٧ر × ١٥٠٠ + ٦٥ + ٢ر(١٦١٠ − ١٥٠٠) = ٣١٧٠٠ سعرا حيث :

١٦٧ر = السعة الحرارية للصلب قبل أن ينصهر

سعرا / كجم °م

٦٥ = الحرارة الكامنة للانصهار

سعرا / كجم °م

٢ر٠ = السعة الحرارية للصلب المنصهر سعرا / كجم °م

١٥٠٠ = درجة انصهار الصلب درجة مئوية

١٦١٠ = درجة الحرارة التى يصب عندها الصلب من المحول درجة مئويه

٢ ـ الحرارة الموجوده بالخبث :

= ١٤٫٤٦١ (٥٠ + ١٦١٠ × ٠٫٢٩٤) = ٧٥٦٠ سعرا

حيث :

٠٫٢٩٤ = السعة الحرارية للخبث سعرا/كجم/°م

٥٠ = الحرارة الكامنة لانصهار الخبث سعرا / كجم

٣ ـ كمية الحرارة التى تحملها الغازات معها .

درجة حرارة الغازات فور خروجهـــا من المحول = ١٤٠٠ درجـة مئوية وعند هذه الدرجة تكون السعة الحرارية لكل من أول أكسيد الكربون والنتروجين = ٠٫٣٢٩ درجة سعرا / م٣ درجة مئوية والسعة الحراريه لثانى أكسيد الكربون = ٠٫٥٣٤ سعرا / م٣ درجة مئوية .

اذا : كمية الحرارة = ١٤٠٠ (٧٫٢٤ × ٠٫٣٢٩ + ٠٫٨١ × ٠٫٥٣ + ٠٫١٢ × ٠٫٣٢٩) = ٣٩٧٠ سعرا

٤ ـ كمية الحرارة المستغلة فى اختزال خام الحديد :

يختزل ٩٠٪ من خا الحديد والبوكسيت الى ح بينما يختزل الباقى ١٠٪ الى حأ

ويلزم لاختزال ١ كجم من $ح_٢$ $أ_٣$ الى ح كمية من الحرارة = ١٧٦٩ سعرا

اذا : كميه الحرارة اللازمة لاختزال ٣٫٢ كجم من الخام =

= ٣٫٢ × ١٧٦٩ = ٥٦٥٠ سعرا

ويلزم لاختزال ١ كجم من الحديد من $ح_٢$ $أ_٣$ الى حأ ٦٠٧ سعرا وفى حالتنا هذه يختزل ٠٫٣٥ كجم من الحديد فى $ح_٢$ $أ_٣$ الى حأ

اذا : الحرارة المستغلة = ٠٫٣٥ × ٦٠٧ = ٢١٢ سعرا

اذا : الحرارة الكلية اللازمة لاختزال الحديد =

= ٥٦٥٠ + ٢١٢ = ٥٨٢٦ سعرا

ويمكن وضع جميع البيانات الخاصة بالموازنة الحرارية فى جدول كما يأتى :

جدول (٤٩) الحرارة الداخلة

بنود مصادر الحرارة	سعر	النسبة المئوية
كمية الحرارة بمصهور الحديد الزهر	٢٧٨٥٠	٥٣ر١
كمية الحرارة بالاكسجين	٥٩	٠ر١
الحرارة الناتجة من تأكسد الكربون	١٣٠٠٠	٢٥ر٠
الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث السليكون	٥٧٢٠	١٠ر٩
الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الفوسفور	٤٦٢	٠ر٩
الحرارة الناتجة عن تأكسد المنجنيز	١٣٥٠	٢ر٦
الحرارة الناتجة عن تأكسد الحديد الضائع فى الخبث	٢٠٧٦	٤ر٠
الحرارة الناتجة عن تأكسد وتخبث الحديد الضائع فى الغبار مع الغازات	١٧٦٩	٣ر٤
المجموع الكلي	٥٢٢٨٦	١٠٠٪

الحرارة المستنفدة

بنود استنفاذ الحرارة	سعر	النسبة المئوية
كميه الحرارة بمصهور الصلب	٣١٧٠٠	٦٠ر٦
كمية الحرارة بالخبث	٧٥٦٠	١٤ر٤
كمية الحرارة فى غازات المحول	٣٩٧٠	٧ر٦
كمية الحرارة المستغله لاختزال الحديد	٥٨٦٢	١١ر٣
كمية الحرارة الضائعة بالاشعاع وغيره من طرف فقد الحرارة الأخرى (وتوجد بالفروق)	٣١٩٤	٦ر١
المجموع الكلي	٥٢٢٨٦	١٠٠٪

١٣ ـ تخطيط مصنع الصلب والمعدات اللازمة

لصناعة الصلب بطريقة النفخ العلوية بالاكسجين فى المحولات

نتبع نفس المبادىء الأساسية عند تخطيط مصنع الصلب بطريقة النفخ العلوية بالأكسجين كما فى مصنع محولات توماس • وهناك الى جانب العناصر الأساسية عناصر اخرى خاصة لازمة لهذه الطريقة فهى تتطلب مثلا رفع وخفض أنبوبة الأكسجين بانتظام •

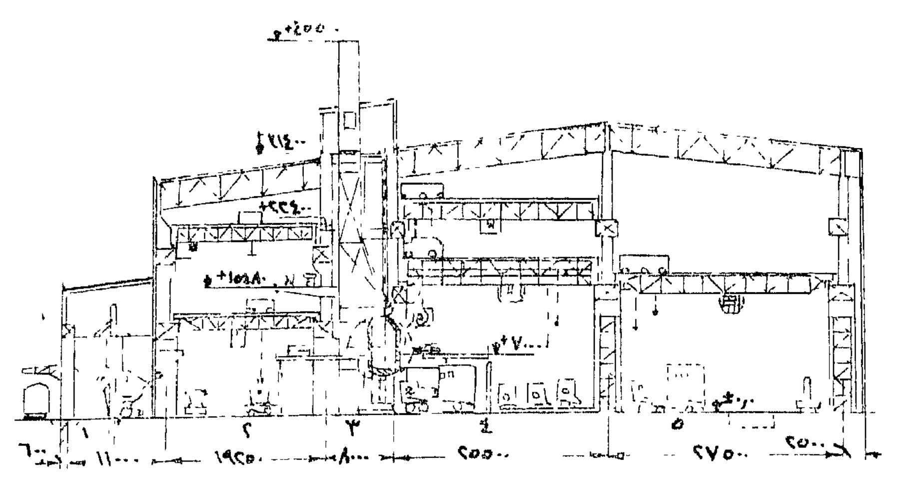
ولقد كان من جراء متطلبات اضافة كميات كبيرة من الخردة والجير والخام قبل وأثناء عملية النفخ واجراء تنقية الغــازات المتصاعدة ، ظهور بعض الصعوبات فى تحديد مكان المحول وتنظيم مكان الأجهزة المختلفة بمقارنتها بمحولات توماس •

وفيما يلى وصف لتخطيط وتنظيم بعض الوحدات حيث ينفخ الحديد الزهر بالأكسجين من أعلا المحول • يمثل شكل ٥٤ المقطع المستعرض لاحدى وحدات المحولات التى تسع ٣٠ طنا ويرى فى الشكل مكان خال لمحول ثالث ويوجد بالقسم خلاط سعة ١٠٠٠ طنا ويمد اثنين من الأفران المفتوحة بالحديد الزهر •

ويقوم بشحن الحديد الزهر بعد وزنه فى المحول ونش علوى متحرك حمولة ١٠٠ طن

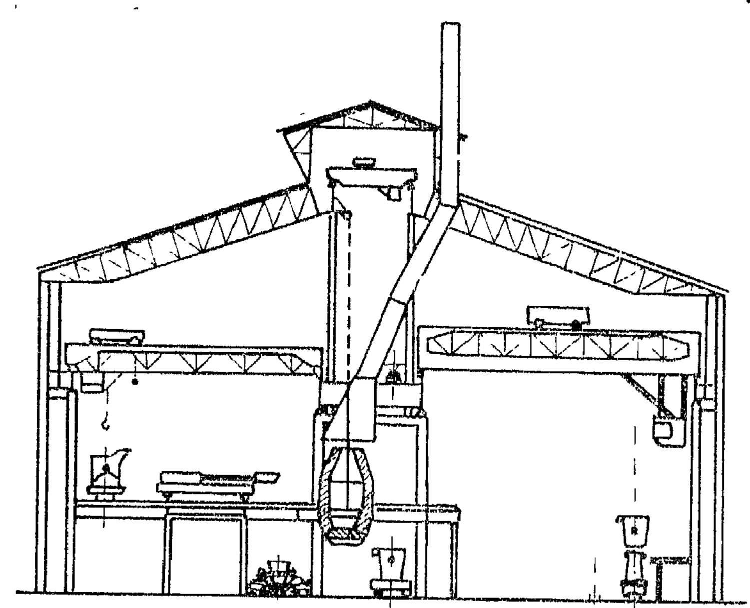
كما يوجد عدد من الأوناش الأخرى المساعدة تقوم بالاضافات المطلوبة لشحنة المحول والأعمال الاضافية المطلوب أداؤها داخل الوحدة ثم يضاف الجير وغيره من الاضافات الأخرى الى المحول خلال مسقط مائل عــن منسوب تشغيل المحولات •

ويستخدم لرفع وخفض أنبوبة دفع الأكسجين ونش كهربائى يثبت فوق السطح العلوى ويدار من حجرة المراقبة ويستعمل جهاز هيدروليكى لامالة المحول •

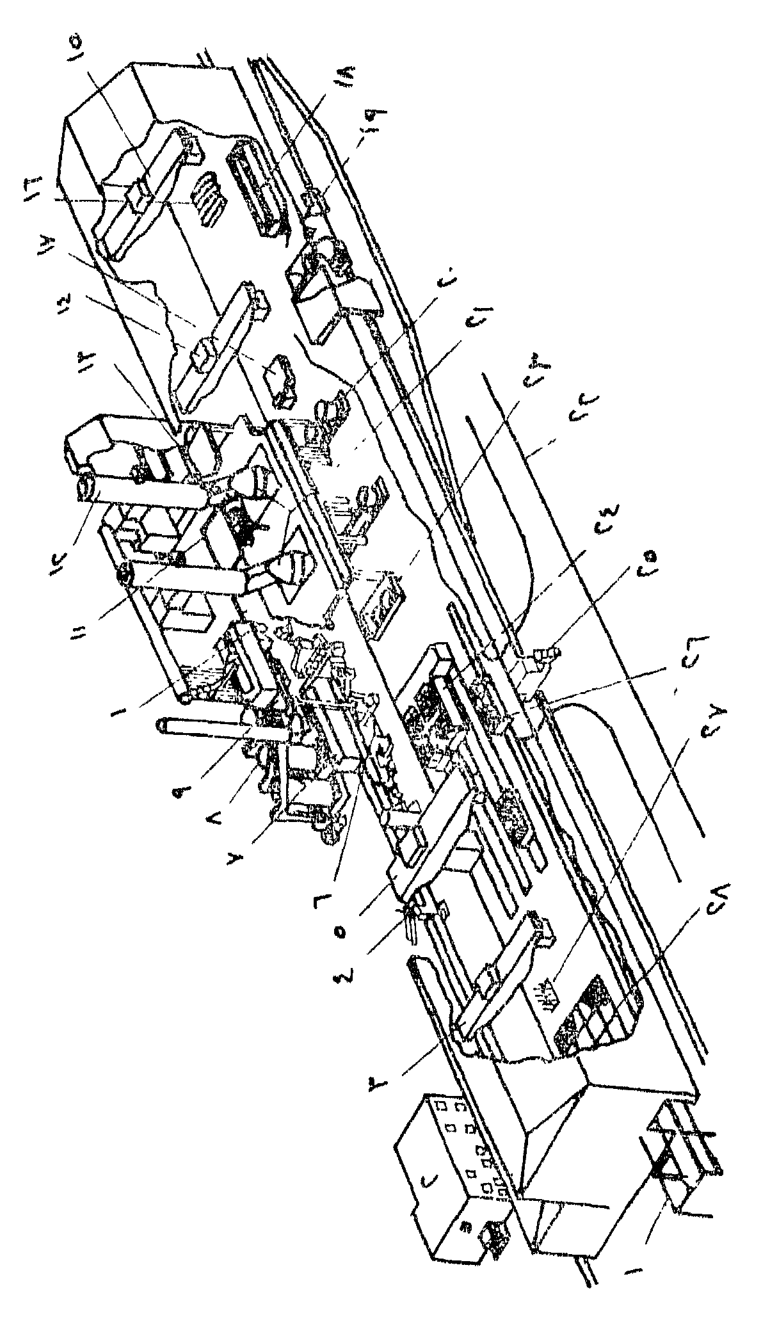


شكل (٥٤) : منظر المقطع المستعرض فى مصنع الصلب بواسطه المحولات ،
وبه محولان سعة كل منهما ٣٠ طنا

ويوجد قسم خاص لصناعة الطوب الحرارى من الدولوميت المقطرن ٠٠ ويبلغ مصنع الصلب ٦٤ مترا طولا ويرتكز على أعمدة المسافة بينها ١٦ مترا ٠٠ ونرى فى شكل (٤١) رسما لوحدات تنظيف غازات المحول من الأتربة كما يوضح الشكل (٥٥) المقطع العرضى للمحول وخنادق الصب ٠



شكل (٥٥) : قطاع مستعرض فى مصنع الصلب ، ويرى به قسم المحولات وقسم الصلب ٠



شكل (٥٦) : تخطيط لمصنع الصلب يعمل به محولان سعة كل منهما ٤٠ طنا

أجهزة القياس التى تستخدم فى مصنع الصلب

تجهز مصانع الصلب الحديثة بمجموعة كبيرة من أجهزة القيـاس المختلفة التى تستخدم لقياس الكم والضـغط ودرجـة حرارة هواء النفخ (هواء ، أكسجين ، بخار ماء ، ثانى أكسيد الكربون) التى تدخل المحول فى وحدة زمنية واستهلاك وضغط درجة حرارة الميـاه المستخـدمة فى أغراض تبريد أنبوبة الأكسجين فى طريقة النفخ العلوية ودرجة حـرارة المعدن وكمية المياه والطاقة الكهربائية المستغلة فى تنقية الغازات المتصاعدة من المحول من درجة حرارة وكمية الغازات المارة خلال العادم ٠٠٠ الخ ٠

وتصميم ومبادىء تشغيل هذه الأجهزة (أجهزة قياس التدفـق ، قياس الضغط) ٠

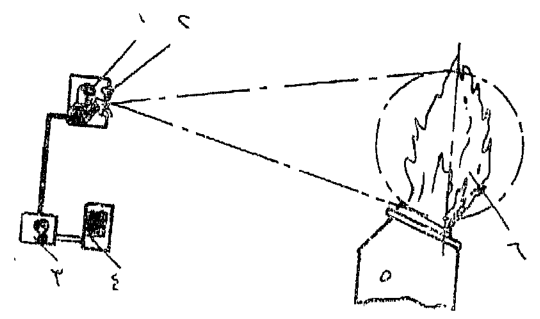
ولما كانت عملية النفخ تستغرق وقتا قصيرا فانه أصبح من المتعذر ضـبط عمليات التشغيل المختلفة بالاستعانة بالتحاليل الكيميائية حتى باستخدام أحدث الأجهزة الموجودة فى عصرنا الحديث والتى تمتاز بدقتها وسرعتها الفائقة لأن أخذ عينة يحتاج الى توقف النفخ مما يتسبب فى ضياع الكثير من الوقت ٠ ولهذا السبب بذلت المحاولات العـديدة فى السنوات الأخيرة لمتابعة سير عملية النفخ أو ايقافها عن طريق الملاحظة والاستعانة فى ذلك بالأجهـزة المختلفة ، وكذلك بالتغيير الذى يطرأ على شعلة اللهب المنبعثة من فوهة المحول كدليل صادق على الحالة الراهنـة للمعدن داخل المحول ٠

ويمكن الحصول على الانتاج المطلوب بطريقة ثابتة باستعمال حديد زهر ذى تركيب كيميـائى ثابت ودرجـة حرارة متقاربة لنفس ظروف التشغيل المتماثلة وفى هذه الحالة يمكن ايقاف النفخ عند لحظة محـددة ومعروفة (عند نسبة معينة من الكربون فى الصلب) ٠

وتحدد هذه اللحظة بأجهزة مختلفة تستخدم لقياس شدة استضاءة شعلة اللهب (بواسطة الخلية الكهروضوئية) ٠٠ ونظرا لأهمية الأجهزة المختلفة نورد فيما يلى مبادىء استعمال بعض هذه الأجهزة التى تستخدم للاحظة (المراقبة) سير العملية من خارج المحول ومن ثم تتقرر اللحظة التى يتحتم عندها ايقاف النفخ ٠

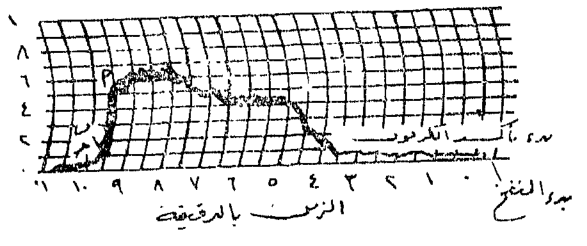
والخلية الكهروضوئية جهاز يستخدم لقياس الطاقة الضوئية للهب حيث يتحول الى طاقة كهربائية ويقوم جهاز تسجيل خاص بتدوين التيار الكهربائى السارى فى هذه الخلية الكهروضـوئية وتركيبها مبين بشـكل

(٥٧) ٠٠ ويراعى ألا يكون هناك أى عائق بين الشعلة والخلية الكهروضوئية كالأوناش والقاطرات مثلا كما يجب أن يكون استعمالها بعيدا كل البعد عن أشعة الشمس ويرى فى شكل (٥٨) منحنى درجات الانصهار كما يدونه جهاز الخلية الكهروضوئية فعند تأكسد السليكون تكون شعلة اللهب ضعيفة التوهج (أقل اضاءة) وذات طاقه ضوئية صغيرة اللهب كما هو موضح فى الرسم وعندما تصل نسبة الكربون الى ١٥ر٪ (نقطة أ) تهبط (تضعف) شدة توهج اللهب سريعا (نقطة ب) حتى تصبح نسبة الكربون ٠٥ر–٠٦ر٠٪ ثم يتتابع التناقص فى الطاقة الضوئية للهب ٠



شكل (٥٧) : تنظيم وضع الخلية المكهرو ضوئية :

١ ـ خليه كهرضوئيه
٢ ـ مرشحات
٣ ـ مضخم (مكبر)
٤ ـ جهاز تسجيل
٥ ـ المحول
٦ ـ شعلة اللهب



شكل (٥٨) : شريط تسجيل لصبة فى محول بسمر تم اخذها بواسطة الخلية الكهروضوئية

بالوصول الى نقطه (ب) نادى الى نهاية عملية النفخ حيث يجب ايقافه ويمثل الجزء ب ـ ج على المنحنى فترة امالة المحلول على المنحنى ٠ أما اذا كان المراد توقف النفخ عندما تصبح نسبة الكربون ١٢ ر٠–١٥ر٪ فيجب امالة المحلول عند نقطة أ وبامالة المحلول بطريقة مطابقة للرسم البيانى للخلية الكهروضوئية يصبح الفولاذ النـاتج من الصبات المختلفـة أكثر

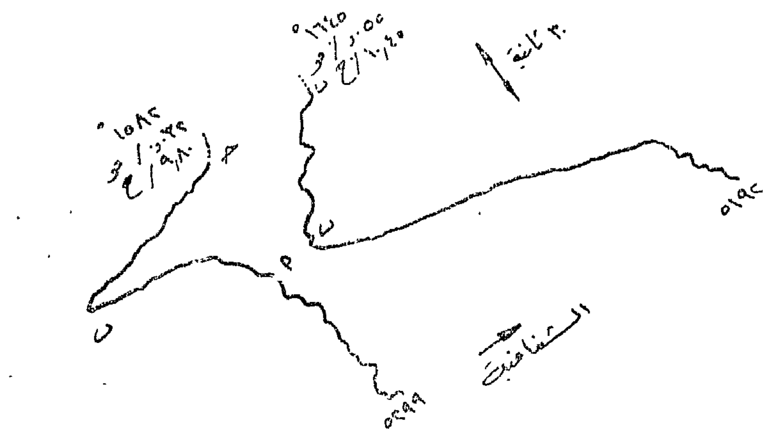
تجانسا كما تقل كمية الغازات الذائبة به كالأكسجين والنتروجين نتيجة لقصر فترة ما بعد النفخ وكثيرا ما تطول هذه الفترة فى حالة الاعتماد على انهاء النفخ بالنظر فقط ٠

ويمكن أن يلحق بالخلية الكهروضوئية جهاز لاصدار اشارة ضوئية أو صوتية عند اللحظة التى يتحتم عندها ايقاف النفخ ٠ وعلى سبيل المثال زودت احدى الوحدات لصناعة الفولاذ سهل القطع فى محـولات بسمر بهذا الجهاز وكانت النتائج سيئة اذ انخفضت نسـبة الكربون بالصـلب بعـد النفخ عن ٠٨ر٠٪ بينمـا فى حالة ايقـاف النفخ بمجرد النظر لا تتعدى نسبة الصبات التى لها نفس هـذه النتائج عن ٣ر٣٦٪

وبواسطة الخلية الكهروضوئية ترسـل اشـارة لامالة المحول فى اللحظة التى يبـلغ عندها التيار الكهربائى للخلية الكهروضـوئية قيمته العظمى والتى تناظر على الرسم البيانى ٠٩ر ـ١١ر٪ كربونا ٠ وبهـذه الطريقة ينخفض عدد الصبات التى تحتوى على نسبة منخفضة من الكربون الى ٥ر١٠٪ أى الى أكثر من ثلاث مرات ٠

بامعان النظر فى شعلة اللهب المنبعثة من محول توماس أثناء فترة تأكسد الفوسفور نجد أن عند لحظة معينة تأخذ شفـافية الشعـلة فى التناقص حتى تصل الى حد أدنى ثم تزداد ثانية بحدة وتظل قصيرة وثابتة قبل نهاية النفخ كما هو مدون بالمقطع المستقيم لشفافية اللهب ٠

عند بداية هذا المقطع تكون نسبة الفوسفور المناظرة ٠٣ر ـ ٠٦ر٪ وتتوقف على درجة الحرارة ويمثل شكل (٥٩) منحنيات الشفافية لشعلة



شكل (٥٩) : الخط البيانى الذى يوضح تغير شفافية شعلة اللهب عند فوهة المحول

اللهب عند درجات الحرارة المنخفضة (١٥٨٢°م) ، والعالية (١٦٤٥ درجة مئوية)

من الشكل نرى أن نقطة ب وهى الحد الأدنى للشفافية تناظر نسبة من الفوسفور فى الصلب لاتتعدى ١ر٠٪ وتظهر هذه النقطة على الرسم البيانى قبل نهاية النفخ بنصف دقيقة وبالوصول الى هذه النقطة يصبح من الممكن امالة المحلول وايقاف النفخ (اذا كان دوران المحلول الى الوضع الأفقى بطيئا) وباستمرار النفخ أكثر من ذلك تنخفض نسبة الفوسفور بالصلب انخفاضا ضئيلا بينما تزداد كمية الحديد المفقودة كثيرا • أما اذا أخذ المحلول وضعه الأفقى سريعا فان نقطة جـ تكون أكثر ملاءمة لانهاء النفخ •

بايقاف النفخ عند نقطة جـ فى وحدات صناعية مختلفة نحصل على صلب تختلف نسبة الفوسفور به من ٠٢٥ر–٠٣٥ر٪ عند درجة حرارة حتى ١٥٩٠ درجة مئوية ، ٠٣٥ر–٠٤٥ر٠ عند درجة حرارة من ١٥٩٠– ١٦١٠ درجة مئوية ، ٠٤٥ر–٠٦ر٪ للصبات ذات درجة الحرارة العالية التى تزيد عن ١٦١٠ درجة مئوية • وتبلغ النسبة الحد الأقصى عندما تصل درجة حرارة الصلب الناتج الى درجة التسخين المفرط (فوق ١٦٥٠ درجة مئوية) •

وبسهولة يمكن تقدير درجة الحرارة أثناء النفخ من منحنى الشفافية لشعلة اللهب فكلما انخفضت درجة الحرارة كلما كان ميل المنحنى أكثر حدة قبل نقطة جـ •

مما سبق يتضح لنا أنه بواسطة منحنى الشفافية تتحدد اللحظة التى يتحتم عندها ايقاف النفخ دون الرجوع الى طبيعة الطريقة المستخدمة .

ب ولقد ظهرت طريقة لتحديد لحظة ايقاف النفخ واضافة المبردات بمعرفة كمية الأكسجين التى دخلت الى المحلول منذ بدء النفخ وتقدر الكمية المطلوبة لنفخ طن واحد من الحديد الزهر بالخبرة والحسابات فمثلا يلزم حوالى ٢٤٠م٣ من الهواء أو ٥٠م٣ من الأكسجين حتى قبل اعادة النفخ لتحويل طن واحد من الحديد من الحديد الزهر الذى يحتوى على ٨ر٣٪ ، ٢٥ر٠٪ ١٥ر١٪ م ، ١ر٢٪ فو لكى نحصل على صلب بالتحاليل الآتية •

٠٥ر٪ ك ، ١٥ر٠٪م ، ٦ر١٪ فو

وتحت نفس الظروف فانه يلزم حوالى ٧٥م ٣ من الاكسجين طوال فترة النفخ

اذا كمية الهواء اللازمة لنفخ ٣٥ طنا من الحديد الزهر حتى قبل اعادة النفخ = ٢٤٠ × ٣٥ = ٨٤٠٠ر٨ م٣

ومنه تحدد كمية الهواء المنفوخ عند أية لحظة من فترة ما قبل اعادة النفخ من ٨٤٠٠ م٣ وعلى سبيل المثال :

حجم الهواء المنفوخ حتى قبل اعادة النفخ بزمن قدره « ن » دقيقة =
ح = ٨٤٠٠ ـ أن

حيث : أ حجم الهواء الداخل الى المحول فى الدقيقة م٣

أما اذا كانت الشحنة أقل من ٣٥ طنا ، فان كمية الهواء المنفوخ تقل تبعا لذلك .

وقد تم رسم خطوط بيانية لتعيين اللحظة التى يتحتم عندها ايقاف النفخ واضافة المبردات وعلى سبيل المثال : المطلوب تحديد اللحظة المناسبة قبل اعادة النفخ بدقيقتين لاضافة المبردات الى شحنة من الحديد الزهر وزنها ٣٠ طنا مع العلم بأن معدل استهلاك الهواء ٥٠٠م ٣ / دقيقة .. من الصعب أن نحدد هذه اللحظة باستمرار النفخ حيث أنها تعتمد على شدة النفخ وتستخدم هذه الخطوط البيانية لمعرفة حجم الأكسجين المنفوخ الى المحول قبل هذه اللحظة .

يرسم خط رأسى من الشكل التانى على مقياس الزمن قبل اعادة النفخ فيقطع الخط المناظر لحجم النفخ الذى يساوى ٥٠٠ م٣ / دقيقة فى نقطة ثم من هذه النقطة يؤخذ خط أفقى فيتقاطع مع الخط المناظر لشحنة المحول وهى ٣٠ طنا فى نقطة يكون مسقطها الأفقى هو حجم الاكسجين المنفوخ (الخط المنقط من الخطوط البيانية) .

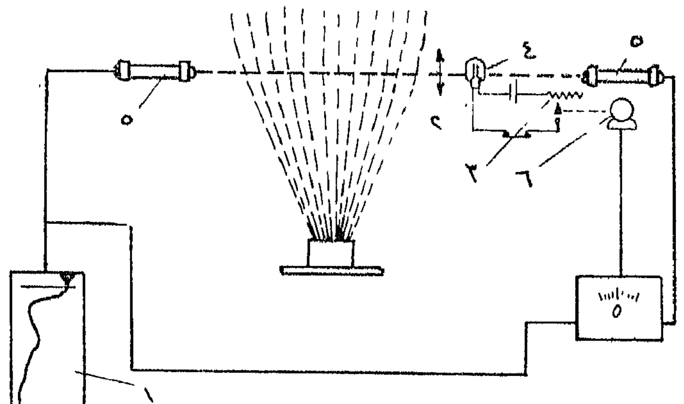
وعندما يبين مقياس التدفق حجم الأكسجين هذا تتبين لحظة الاضافات وتأتى لحظة التوقف عندما يبين مقياس التدفق الحجم المحدد الذى دخل المحول .

ويمكن اعداد مجموعة من هذه الخطوط البيانية بحيث تشمل التحاليل

الكيميائية المألوفة للحديد الزهر • وتصلح هـذه الطريقة لأى نـوع من أنواع النفخ •

وعند نفخ الحديد الزهر بالاكسجين من أعلا المحول يزود مقبـاس التدفق بجهاز لتعيين كمية الأكسجين المستعملة منذ بدء النفخ عند أية لحظة •

وتتحدد لحظة التوقف من قراءات الجهاز واستهلاك الأكسجين اللازم لأكسدة ١ر٠٪ ك • هناك طريقة أخرى لمراقبة الانصهار بمعرفة درجـة حرارة الشعلة ويرى فى شكل (٦٠) تنظيم الأجهزة المسـتخدمة لقياس درجة حرارة الشعلة فتوضع لمبة قياسية مع بيرومتر ضوئى يضىء بهذه اللمبة فى ناحية من الشعلة ثم يوجه بيرومتر آخر الى الشعلة فيستقبل الطاقة الضوئية المنبعثة من كل من الشعلة واللمبة مخترقة شعلة اللهب • فاذا كانت الطاقة الضوئية الكلية التى يستقبلها هذا البيرومتر مساويـة للطاقة الضوئية التى يستقبلها البيرومتر الموجه الى اللمبة العيارية كان ذلك دليلا على أن درجة حرارة الشعلة مساوية لدرجة حرارة فتيلة اللمبة وعندما تتساوى قراءتا كلا البيرومترين يتحرك مؤشر الجلفانومتر المتصل بالمؤشر المناظر مشيرا الى صفر التدريج •



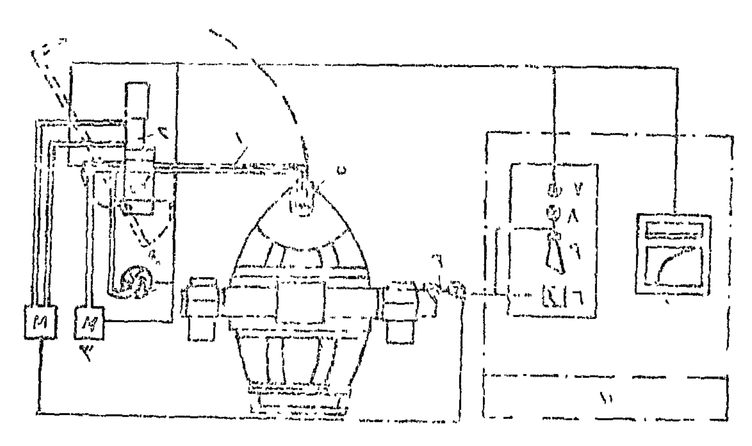
شكل (٦٠) : تنظيم لقياس درجة حرارة اللهب

١ ـ جهاز تسجيل درجة الحرارة	٢ ـ الشبشبة
٣ ـ ترموستات	٤ ـ لمبة عيارية
٥ ـ بارومترات	٦ ـ موتور مؤازر

أما اذا كانت الطاقة المستقبلة من اللمبة أكبر أو أقل من الطاقـة المستقبلة من الشعلة ومأخوذة منه بواسطة البيرومتر الآخر فان المؤشر ينحرف عن الصفر الذى بدوره سوف يغير منزلق الترموستات بطريقـة

أو بأخرى ٠٠ الأمر الذى يؤدى الى زيادة أو نقص درجة حرارة الفتيلة حتى تتساوى القراءتان فى كلا البيرومترين ويقوم جهاز تسجيل بتدوين درجة الحرارة التى حددت بهذه الطريقة ٠٠ ولقد وجد أن درجة حرارة الشعلة فى محول توماس تكون أقل من درجة حرارة المعدن بثمانية درجات مئوية وذلك أثناء فترة ازالة الفوسفور فى نهاية النفخ وقد تتغير درجة الحرارة هذه قليلا فى المصانع المختلفة تبعا لظروف الانتاج ولكنها تبقى دائما ثابتة فى معظم الأحوال اذا كانت الظروف واحدة فى نفس المصنع ٠

من هذا نرى أنه يمكن تقدير درجة حرارة المعدن داخل المحول بمعرفة درجة حرارة الشعلة وهذه العملية لها أهمية بالغة فى السيطرة على سير العملية أثناء النفخ وسلوك التفاعلات المختلفة داخل المحول ٠ ويمثل شكل (٦١) احدى الوحدات حيث تقاس درجة المعدن فى المحول مباشرة ٠



شكل (٦١) : يوضح رسما تخطيطيا لاحدى الوحدات المستخدمه لقياس درجه حرارة المعدن داخل المحول

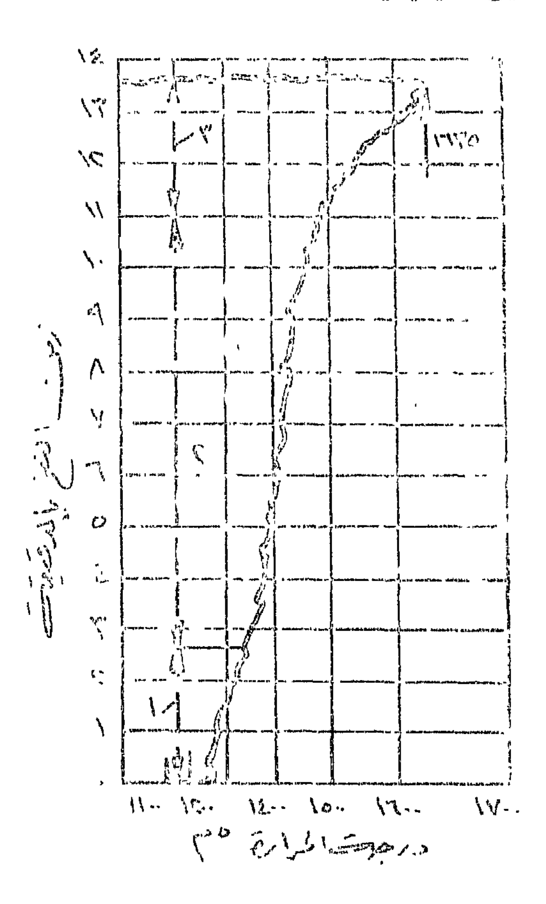
١ ــ انبوبة مرفقية ٢ ــ جهاز ادارة
٣ ــ صمامات مغناطيسية على خط الهواء المضغوط
٤ ــ مضخة تدفع الماء لتبريد الأنبوبة
٥ ــ بارومتر ٦ ــ مفتاح كهربائى
٧ ــ اللمبة الحمراء ٨ ــ اللمبة البيضاء
٩ ــ صفارة ١٠ ــ مسجل
١١ ــ غرفة المراقبة

ولقياس درجة الحرارة يخفض البيرومتر الى الفوهة تحت منطقة تكوين الشعلة وآليا تسحب الأنبوبة جانبا ولا تستغرق قياس درجة الحرارة

أكثر من ١٥ ثانية وندون قراءات البيرومتر على جهاز تسجيل خاص ثم يرسم منحنى لدرجات الحرارة كالمبين فى شكل (٦٢) ٠

وبمقارنة درجات الحرارة المبينة بهذا المنحنى بالقياسات التى يعطيها الازدواج الحرارى نجد أن الخطأ لا يتعدى ١٠ درجة مئوية ٠

وبهذه الطريقة تتمكن مثل هذه الوحدات من العمل مستقلة لمدة طويلة مع سهولة فى المراقبة كما يسهل تنظيم درجات الحرارة باضافة السبائك المبردة أو التى ترفع درجة الحرارة حسب الحالة ٠٠ ومن حسن الحظ فقد تم استنتاج علاقات محددة نربط بين منحنيات الطيف لشعلة اللهب والتحاليل الكيميائية للمعدن ٠



شكل (٦٢) : يبين الخط البيانى لتغير الحرارة :

١ ـ اكسدة السليكون **٢ ـ احتراق الكربون**

٣ ـ احتراق الفوسفور

صناعة الصلب فى المحولات الدوارة والأفران الانبوبية الدوارة

لقد كان الهدف من تطوير صناعة الصلب فى المحولات الى ما وصلت اليه فى عصرنا الحديث هو الحصول على صلب يضارع فى جودته صلب الأفران المفتوحة ولكن كان لهذه الطرق بعض العيوب ٠

أحد هذه العيوب تصاعد كمية كبيرة من الأدخنة البنية اللون عند نفخ الحديد الزهر بالأكسجين وتحتاج تنقية هذه الادخنة الى أجهزة واستعدادات خاصة ٠

ويمثل القدر الضائع من الحديد كأكسيد حديد حوالى ١٪ يتصاعد مع الغازات الخارجة من المحول كما أنه نتيجة للتلامس المباشر بين تيار الاكسجين والمعدن ترتفع درجة الحرارة موضعيا بشدة ٠٠ ولعل أهم الصعوبات التى تصادفنا فى هذه الطريقة هى تحويل الحديد الزهر الغنى بالفوسفور الى صلب به نسبة منخفضة من الفوسفور بحيث يحتوى على اقل نسبة من النتروجين ٠

كما أنه من الصعوبة البالغة نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على فوسفور من ٥ر٠ ــ ٠ر١٪ بطريقة توماس المعتادة ٠

واليوم أصبحت الطرق الأكثر شيوعا فى التطبيق فى صناعة الصلب هى التى تضمن النقاط التالية :

(أ) انتاج صلب يضاهى صلب الأفران المفتوحة فى خواصه الميكانيكية والعملية ٠

(ب) التمكن من نفخ الحديد الزهر مهما كانت تحاليله الكيميائية ٠

(جـ) انتاج صبات بأوزان كبيرة ٠

(د) تلافى تصاعد الأدخنة بكميات كبيرة ٠

(هـ) أن تكون الطريقة اقتصادية ٠

ولقد أمكن تحقيق معظم هذه الشروط بواسطة التطورات الحديثة فى طرق نفخ الحديد الزهر بالاكسجين فى الوحدات الدوارة ٠

١ ــ نفخ الحديد الزهر فى محول دوار

ظهرت هذه الطريقة الى الوجود الصناعى فى بلاد السويد ولقد كان من دواعى ظهورها الاعتقاد بعدم تعرض الحديد الزهر فى المحول الثابت للتخلخل الكافى مهما كان ضغط تيار الأكسجين مرتفعا مما يؤدى الى ارتفاع درجة حرارة المعدن موضعيا فى منطقة التفاعلات فيتبخر جزء من الحديد ويضيع مع الغازات المتصاعدة كأبخرة بنية ٠

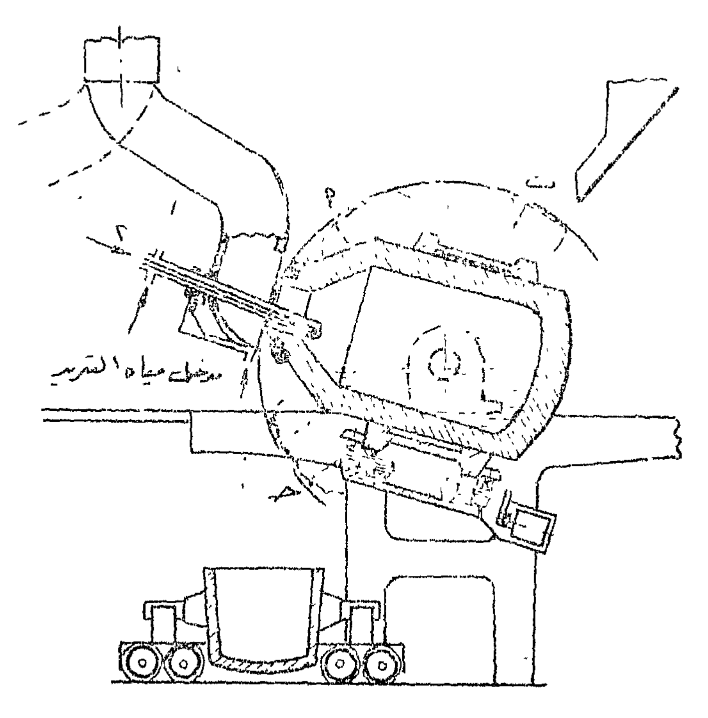
كما يضيع جزء آخر من الحديد فى الخبث عند نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة عالية من الفوسفور وتنحصر الخطوط العريضة لهذه الطريقة أنه يمكن للمعدن أن يختلط اختلاطا فعالا مع دوران المحول بغض النظر عن ضغط الأكسجين وبالخلط السليم نتلافى وصول بعض أجزاء المعدن الى درجة التسخين المفرط وما يتبع ذلك من تكون الأبخرة البنية ٠

وبتغيير سرعة دوران المحول وطريقة نفخ الاكسجين نتمكن من تنظيم العملية والسيطرة عليها ٠ ونرى فى شكل (٦٣) شكلا لأحد المحولات الدوارة سعة ٣٠ طنا ويتمكن المحول من الدوران حول محوره الأفقى مرتكزا على مرتكز دورانى لشحنه بالحديد الزهر وخلافه وكذلك لصب الصلب والخبث أثناء النفخ ويأخذ المحول وضعا مائلا بحيث يصنع زاوية بين ١٥ ــ ٢٠ درجة مع الأفقى ٠

ويدفع الأكسجين الى سطح المعدن خلال فوهة المحول بواسطة أنبوبة تبرد مائيا (بواسطة الماء) وتميل ٨ــ٢٥ درجة على الأفقى ويدور المحول حول محوره الطولى أثناء النفخ بمعدل ثلاثين دورة فى الدقيقة ٠

يستخدم طوب الدولوميت المقطرن فى صنع بطانة هذا المحول ونتغير هذه البطانة بعد خمسين صبة ولقد وجد حاليا أن هذا الرقم يمكن أن يرتفع الى الضعف أو الى ثلاثة أضعاف باستعمال طوب المجنزيت ٠

يمكن سحب المحول بعيدا عن جهاز الدوران ويحل آخر بعمله ويفضل أن يكون هناك جهازان للدوران الآلى مع ثلاثة محولات بحيث يعمل اثنان منهما ويكون الآخر بعيدا عن العمل لأغراض تغيير البطانة وخلافه ٠



شكل (٣٦) : يبين محولا دوارا سعة ٣٠ طنا لنفخ الحديد الزهر بالاكسجين الخالص
وفى الشكل نرى وضع المحول فى الحالات الآتية :

(أ) عند شحنة بالحديد الزهر (ب) لاضافة شحنة الخام والجير
(جـ) أنبوبة قابلة للدوران لسحب الغازات

١ ـ أنبوبه قابلة للدوران لسحب الغازات ٢ ـ قصبة دفع الاكسجين

من المستحسن أن يحتوى الحديد الزهر المستخدم فى المحولات الدوارة على التحاليل الاتية :ـ

سليكون	٣ ر٠ـ٣ و٠٪
فوسفور	٨ ر١ـ٠٠ر٢٪
كربون	٣ر٥
فاناديوم	١ر٠
كبريت	٠٥ر٠ـ٠٦ر٠
منجنيز	٥ ر ـ٧ ر٠

واذا احتوى الحديد الزهر على نسبة عالية من السليكون فانه يفضل فى هذه نفخة بالاكســجين فى البودقة حتى تنخفض نسبة السليكون به ثم يشحن فى المحول بعد ذلك ٠

وكفاعدة يستخدم في اغراض التبريد خام الحديد أو الركام (الكتل) التي تحتوى على ٥٥٪ منه حديد كما نستعمل الخردة أيضا فى هذا الصدد وعندما يتم التبريد بواسطة خام الحديد بمفرده فانه يضاف بمعدل ١٢ـ١٤٪ اما اذا اضيفت الخردة فقط بدلا من خام الحديد فان استهلاكها يصل نظريا الى ٤٠٪ بينما لاتزيد فى الواقع عمليا عن ١٥ـ٢٠٪ ويجب أن تكون هذه الخردة صغيرة الاحجام فالكبيرة منها قد لا تنصهر تماما ٠

ويستغرق نفخ الحديد الزهر الفوسفورى من ٣٥ـ٤٠ دقيقة اذا كانت درجة نقاوة الأكسجين ٩٧٪ ومعدل تدفقه من ٦٥ ـ ٧١م٣ لكل طن من الحديد الزهر ٠ والحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور لا يستغرق وقتا طويلا فى النفخ فتنخفض مدة النفخ الى ٢٥ دقيقة ٠

ويمكن أيضا اختزال زمن النفخ كثيرا باستعمال الخبث المتخلف عن الشحنة السابقة (اذ يمثل الجير الجزء الأعظم من هذا الخبث كما يحتوى أيضا على كمية من أكاسيد الحديد وقليل من الفوسفور) وباضافة بعض الجير الناعم والخام » الخردة ، الركام أثناء النفخ دون امالة المحول ٠ ويجرى النفخ على النحو التالى :ـ

الفترة الأولى قبل ازالة الخبث وتستمر لمدة ٢٠ـ٣٠ دقيقة ينخفض بعدها الكربون الى ٢٪ والفوسفور الى ٤ر٠٪ ثم يزال سريعا ويحتوى هذا الخبث على ٢٢٪ منه فو٢ أ ٢ ٠ ولا تزيد نسبة الحديد به عن ٣ـ٤٪ وترتفع درجة الحرارة الى ١٥٥٠ـ١٦٠٠ درجة مئوية ٠

ويكفل لنا أكسدة الحديد مبكرا فى أول مراحل النفخ وخلط المعدن جيدا نتيجة لدوران المحول ، خبثا ذا فاعلية كبيرة وسرعة فى ازالة الفوسفور ٠

عندما يستخدم المحول المألوف (العادى) فى نفخ الحديد الزهر الذى يحتوى على أكثر من ٢ر٠٪ فوسفورا ، بالأكسجين الخالص فان الخبث الحديدى يسبب أكسدة الكربون بشدة وبتصاعد تبعا لذلك كثير من أول أكسيد الكربون فيزداد تناثر الحديد خارج المحول وتتيح لنا نفخ الحديد الزهر فى المحول الدوار فرصة تنظيم معدل تأكسد الكربون بدقة مع ازالة الفوسفور ٠

ثم يقل دفع الأكسجين فيزداد دوران المحول لحظيا حتى يقل معدل تأكسد الكربون فتزداد أكاسيد الحديد فى الخبث تبعا لذلك ٠٠ الأمر الذى يؤدى الى الاسراع من معدل أكسدة الفوسفور وبالعكس فاذا كانت درجة

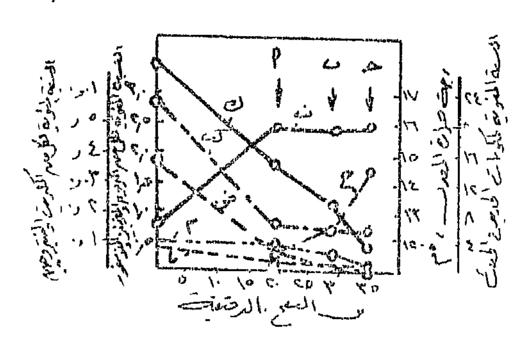
الحرارة منخفضة فانه يجب أن يزداد دفع الأكسجين ونقل سرعة دوران المحول فيرتفع معدل تأكسد الكربون وتزداد الحرارة بينما تقل أكاسيد الحديد بالخبث ·

وبمعرفة معدل دفع الأكسجين ودرجة حرارة الغازات المنبعثة عند فوهة المحلول مقبسة بالبيرومتر المعتاد يمكن تنظيم درجة الحرارة والسيطرة على العملية ·

وفى داخل المحول يحترق جزء كبير من أول أكسيد الكربون وعندئذ يزداد معدل تأكسد الكربون فيتصاعد تبعا لذلك أول اكسيد الكربون بغزارة وتفقد كمية هائلة من الحرارة معها ·

وتدوم الفترة الثانية عشرة دقائق يزال بعدها الخبث الذى يحتوى على ١٧٪ فو٢ أ٥ ٦٪ حديدا وفى هذه الحالة يحتوى المعدن داخل المحلول على حوالى ١٪ كربونا وعندئذ تبدأ فترة النفخ اللاحق حتى نصل نسبة الكربون بالصلب الى النسبة المنشودة (دون اتباعها بعملية الكربنة) ·

ويستغل الخبث الناتج من كلا الفترتين كسماد للأرض الزراعية ويعطينا شكل (٦٤) صورة للسلوك النمطى الذى تسلكه الشوائب أثناء تأكسدها منذ نفخ الحديد الزهر الفوسفورى بالاكسجين الخالص فى المحول الدوار تحت الظروف الآتية :



شكل (٦٤) : يمثل أكسدة الشوائب اثناء نفخ الحديد الزهر بالأكسجين فى محول دوار :

أ ـ ازالة الخبث الأصلى ب ـ ازالة الخبث الثانوى

جـ ـ الصلب المنصهر

وزن الحديد الزهر ٣٠ طنا ـ تركيب الحديد الزهر ٣ر٥٤٪ كربونا ، ١٢ر٠٪ سليكونا ، ٤٩ر٠٪ منجنيزا ، ٨٤ر١٪ فوسفورا ، ٠٥٨ر٠ كبريتا معدل استهلاك الجير ٨ر١٣٪ والخام ٩ر١١٪ من وزن الحديد الزهر معدل دفع الأكسجين ٦٥م٣/ طن من المعدن ·

يتأكسد الفوسفور فى نفس الوقت مع الكربون ولهذا فانه عندما تصل نسبة الكربون الى ٥ر٠٪ تصبح نسبة الفوسفور ضئيله للغايه وعند نقطة جـ يكون تركيب الصلب هو :ـ ٠١٨ر٪ فوسفورا ، ٠١٣ر٪ كبريتا ، ٠٠٢ر٪ نتروجينا وبالرغم من انخفاض نسبة المنجنيز فى الحديد الزهر فان درجة ازالة الكبريت عالية اذ بلغت ٩٧٫٥٪ ويرجع هذا الى سرعة تكوين الخبث دى الفاعلية الكبيرة وأساسا بالخلط الجيد الذى له أكبر الأثر فى ازالة الكبريت من الصلب ·

وعند صناعة الصلب من الحديد الزهر الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور مع نسبة عالية من الكبريت يزال الخبث مبكرا بعد بدء النفخ بخمس الى عشر دقائق ·

فى حالة ما اذا احتوى الحديد الزهر على فوسفور حتى ٨ر١٪ يمكن الحصول على صلب منخفض الفوسفور بازالة الخبث مرة واحدة بدلا من مرتين وبذلك تختصر خطوات العمل باستخدام خام الحديد كعامل مبرد فان التركيب الكيميائى للصلب الناتج عندما يكون وشيكا للصب من المحول :

ك	٠٣٥ر٪
م	٠٩٤ر٪
فو	٠٢٢ر٪
كب	٠١٥ر٪
ن ٢	٠٠٢ر٪

وتتغير نسبة المنجنيز ، من ٠٦ر-١٨ر٪ متوسط معدل دفع الأكسجين هو ٦٩م٣ طن ويضاف الخام بمعدل ٥ر١١٪ والجير بمعدل ١٤٪ من وزن الصلب وكانت درجة حرارة الصلب عند صبه ١٦٤٠ درجـة مئوية وهذا الصلب الناتج لايقل بأى حال من الأحوال عن صلب الافران المفتوحة وهو يستعمل فى صنع ألواح السفن والصفائح المستخدمة لأغراض التشكيل المختلفة كالثنى والسحب ·

وتصل الكفاءة الانتاجية للصلب الناتج ٩٢٪ من وزن الحديد الزهر المشحون وقد تصل هذه النسبة الى ١٠٠٪ باضافة خام الحديد من أجل التبريد ·

وفى هذه الطريقة تنخفض كثيرا كمية الحديد الضائعة مع الغازات المنبعثة من المحول عنها عن طريقة النفخ العلوية بالاكسجين فى المحول الثابت ويعزى هذا الى تماثل درجات الحرارة فى جميع أجزاء الشحنة دون

الارتفاع الشديد فى أحد المواضع بها ولهذا فاننا لانرى هناك حاجة الى اجهزة خاصة لتنقية الغازات ٠

ويستهلك الطن من الصلب الناتج حوالى ٢٠ كجم من الدولوميت ويمكن تلخيص اجمالى مميزات هذه الطريقة فيما يلى :ـ

١ ـ ارتفاع الكفاءة الانتاجيه للصلب الناتج لاستغلال كمية كبيرة من خام الحديد اذ أن احتراق أول أكسيد الكربون داخل المحول يرفع من درجة حرارته كثيرا ٠

٢ ـ يمكن انتاج الصلب متوسط الكربون من الحديد الزهر الفوسفورى بايقاف النفخ عندما تصل نسبة الكربون الى حد معين دون اعادة النفخ ثم تتبع ذلك بعملية الكربنة ٠

٣ ـ ازالة الكبريت بدرجة كبيرة ٠

٤ ـ انخفاض نسبة النتروجين بالصلب حين تبلغ نقاوة الأكسجين الذى ينفخ بالمحاول ٩٧/ ٠

٥ ـ سهولة ضبط معدل تأكسد الكربون وذلك بتغيير سرعة دوران المحول ٠

٦ ـ انخفاض كمية الحديد الضائعة مع الغازات وفى الخبث ولهذا فأنه لاداعى لاستعمال أجهزة التنقية ٠

٧ ـ امكانية امرار الحديد الزهر بمراحل تصنيع تالية فى الفرن الكهربائى أو الفرن المفتوح ٠

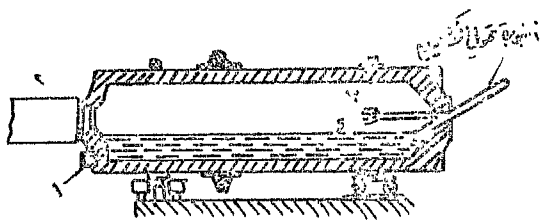
٨ ـ يمكن زيادة سعة المحولات الدوارة حتى ١٠٠ طن وأكثر ٠

٢ ـ صناعة الصلب فى الأفران الأنبوبية الدوارة

بعد عدد من التجارب تم التوصل بنجاح الى صنع الصلب فى أفران أنبوبية دوارة وعند اصطدام تيار الأكسجين بمصهور المعدن ترتفع درجة الحرارة بشدة فى منطقة الاصطدام ولكن بدوران الفرن نتلافى تأثير الارتفاع الموضعى فى درجة الحرارة على بطانة الفرن اذ تغير البطانة موضعها بانتظام فتكون تارة بمثابة قاع وتارة أخرى سقفا ولهذا فان تآكل البطانة يكون أكثر انتظاما وبذلك تطول عمرا ٠

الى جانب هذا فان التقلب الشديد أثناء الدوران ليساعد كثيرا على أكسدة الشوائب وازالة الكبريت ٠

ونرى فى شكل (٦٥) رسما لفرن دوار سعة ٦٠ طنا وطول هذا الفرن ١٤ر٦ مترا وقطره الداخلى ٢ر٧ والخارجى ٣ر٧ مترا .



شكل (٦٥) : يبين فرن الروتور الذى يسع ٦٠ طنا

١ ـ فتحة الصب
٢ ـ غازات العادم
٣ ـ فونية ثانوية
٤ ـ فونية اصلية

ويبطن هذا الفرن بطبقتين من الطوب الحرارى احداهما ملاصقه بهيكله وتقوم بحمايته وتصنع من طوب المجنزيت وسمكها ١٢٠ مم أما الطبقة الأخرى المعرضة للمعدن فتكون دكا من خليط الدولوميت المقطرن وسمكها ٣٨٠ مم .

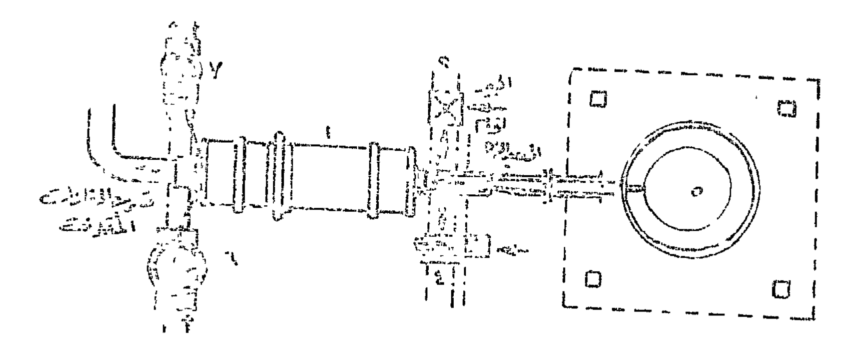
وبالفرن فتحتان أحدهما أمامية لشحن الحديد الزهر واضافه الاضافات ونفخ الاكسجين والأخرى خلفية لتصريف الخبث والغازات المتكونة .

ويدور الفرن مبتدءا بمعدل ١ر٠ ـ ٥ر٠ دورة/دقيقة ويتدفق الأكسجين الى الفرن فى تيارين نفاثين (الاكسجين الأساسى والثانوى) ، ويمكن دفع الاكسجين الأساسى الى المعدن خلال أنبوبة تبرد بالماء فى نهايتها فوهة لتركيز النفخ على المعدن وأكسدة الشوائب وتقليب المعدن ويدفع الأكسجين الثانوى فوق سطح المعدن حتى يحترق أول أكسيد الكربون الناتج عن أكسدة الكربون ومن هذه الحرارة المتكونة يمتص المعدن حوالى ٦٠٪ فقط .

وتوضع المدخنة على الجانب المقابل لفتحة تمويل الأكسجين لتندفع الغازات المتكونة خلالها ولهذا فان سحب الغازات والدخان يكون أيسر بكثير عن المحولات .

كما أن تنقية الغازات ليست بالعملية الصعبة .. وتطبق الخطوات الآتية عند العمل فى الأفران الدوارة : (شكل ٦٦) .

يقوم جهاز متحرك بشحن الفرن بالجير والخام والنفايات المعدنية خلال الفتحة الأمامية ثم يدفع الجهاز جانبا ويضبط المسقط المائل



شكل (٦٦) : الأفران الدوارة

١ ـ الفرن — ٢ ـ جهاز شحن الخام والجير الى الفرن
٣ ـ مسقط متحرك لسحب الحديد الزهر — ٤ ـ عربة لتخليص ودنات الاكسجين
٥ ـ الفرن العالى — ٦ ـ بودقة صب الصلب
٧ ـ أوانى الخبث

المتحرك ويتم سحب الحديد الزهر من الفرن العالى الى هذا الفرن الدوار الذى يسع ٦٠ طنا بعد ذلك يبعد المسقط المائل ثم تتحرك عربة تحمل أنابيب أكسجين الى فتحة الشحن ثم تركب أنابيب الأكسجين على مزلقات خاصة وتولج فى الفرن الدوار بواسطة موتور كهربائى وعندئذ يبدأ الأكسجين فى التدفق ٠

بواسطة هذا الفرن يصبح بالامكان تحويل الحديد الزهر الفوسفورى اما الى خام نصف مصنع يصلح لانتاج الأفران المفتوحة واما الى صلب جاهز للتشكيل ٠

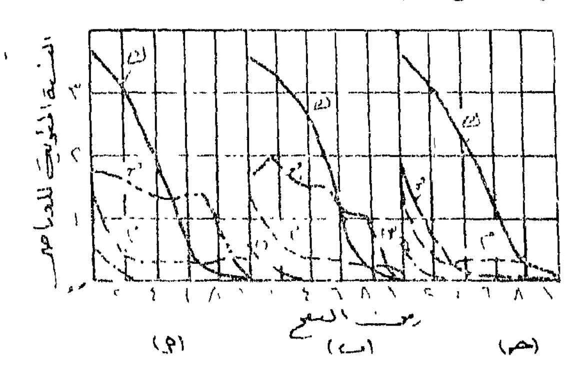
ففى الحالة الأولى يوقف النفخ بعد ٤٠ دقيقة حيث يحتوى المعدن على ١٪ كربونا وحوالى ١ر٠٪ فوسفورا وعندئذ يزال معظم الخبث قبل صب المعدن من الفرن ٠

ونستخدم أجهزة امالة لازالة الخبث عند صناعة الصلب الجاهز للتشكيل ٠ فى هذا الفرن يزال الخبث عندما يحتوى المعدن على حوالى ٢٪ كربونا وتكون نسبة الفوسفور حوالى ١ر٠ ــ ٢ر٪ ويحتوى هذا الخبث على نسبة من الحديد منخفضة نوعا (٨ ــ ١٢٪) ولكنه يحتوى على نسبة عالية من خامس أكسيد الفوسفور (١٨ ــ ٢٠٪) ولهذا فهو يستخدم بعد معالجته كسماد للتربة الزراعية ٠

بعد أن يزال الخبث يتكون خبث جديد ويضبط باضافة الجير وخام الحديد ثم يعاد النفخ ثانية حتى تصل نسبة الكربون الى النسبة المنشودة ٠

ويصب الصلب مع بقاء الخبث الجديد فى الفرن ثم يخلط بخام الحديد والجير ويستعمل فى الصبة التالية · وعند صب الصلب تفتح فتحة الصلب الخاصة عندما تكون فى موضعها العلوى ويستغرق صنع الصلب الجاهز للتشكيل (أول التسخين حتى صب الصلب) من الحديد الزهر الفوسفورى ساعتين منها ١٥ دقيقة تضيع فى شحن الجير وخام الحديد ، ١٠ ــ ١٥ دقيقة لشحن الحديد الزهر ، ٥٠ ــ ٦٠ دقيقة فى النفخ وازالة الخبث ، ١٠ دقائق لصب الصلب ·· وأما ما يتبقى من الفرن فيضيع فى الأعطال التى تحدث بين الصبات وبعضها · وفى شكل (٦٧) نجد مقارنة لأكسدة الشوائب فى الحديد الزهر عند النفخ اما بالهواء أو بخليط الهواء والاكسجين فى المحول ، وبنفخ الأكسجين فى الفرن الدوار يتضح أن فترة أكسدة الفوسفور قد تقدمت فترة أكسدة الكربون ·

ويرجع هذا الى سرعة تكون خبث الحديد الجيرى (الخبث الجيرى الغنى بأكاسيد الحديد) ويساعد اضافة خام الحديد بكميات كبيرة فى سرعة تكوين هذا الخبث كذلك فان الحرارة العالية التى تنتج عن احتراق أول أكسيد الكربون فى الفرن تكون هى الأخرى لها نفس التأثير ·



شكل (٦٧) : منحنيات تبين احتراق العناصر فى طرق النفخ المختلفة للحديد الزهر التوماسى :
(أ) طريقة النفخ بالهواء (ب) طريقة النفخ بالهواء المزود بالاكسجين
(جـ) الفرن الدوار

ويمتاز الصلب الناتج بهذه الطريقة بانخفاض نسبة الفوسفور به فلا تتعدى ٠٣ر٪ اذ لا يختزل أى كمية من الفوسفور الموجود فى الخبث ويعود الى المعدن ·

ويتوقف معدل النفخ على معدل تدفق تيار الأكسجين الأساسى وضبطه وكذلك على معدل استهلاك خام الحديد ·

وعندما يتأكسد الكربون بمعدل كبير يتكون غار أول أكسيد الكربون بكميات ضخمة ويتصاعد بغزارة مما يؤدى الى انبعاج كل المعدن المنصهر والخبث وقد يصطدم تيار الأكسجين الثانوى بهما ويشترك هو الآخر فى عمليات الأكسدة المختلفة ·

ومن حسن الحظ أنه عند صناعة الصلب فى الفرن الدوار يزال الكبريت لدرجة كبيرة تفوق أية طريقة قاعدية أخرى لصناعة الصلب اذ تنفرد هذه الطريقة باحتراق الكبريت جزئيا الى ثانى أكسيد الكبريت حيث تكون درجة حرارة الخبث عالية · ومن تحليل الغازات المتصاعدة من المحول يمكن القول بأن ١٥٪ من الكبريت قد أزيل فى صورة غاز ثانى أكسيد الكبريت ·

ويحتوى الصلب المصنوع فى الفرن الدوار على حوالى ٠٠٤ر٠٪ من النتروجين عندما تكون درجة نقاوة الأكسجين ٩٥٪ ·

٣ — الموازنة المادية والحرارية فى صناعة الصلب بطريقة الفرن الدوار :

للسهولة تعتبر الحسابات لطن واحد من الصلب الناتج ·

الموازنة المادية لطن واحد من الصلب مبينة فى جدول ٤٧ ·

يعزى انخفاض كمية الحديد الزهر اللازمه لصنع طن واحد من الصلب الى اختزال الحديد فى كمية الخام الوفيرة التى تضاف الى الشحنة والى انخفاض كمية الحديد الضائعة ·

جدول (٤٧)

المواد الداخلة	كجم
الحديد الزهر الفوسفورى	٦٩٧
جـير	١٢٥
خام حديد	١٥٥
أكسجين	٩٠
نتروجين	٢٠
خـردة	٣٨
المجموع الكلى	١٤٢٥

المواد الناتجة	كجم
صـلب	١٠٠٠
خبث	٢١٠
غازات متصاعدة	٢٠٠
غبـار	١٥
المجموع	١٤٢٥

ويصل المعدل الكلى لنفخ الاكسجين لكل طن من الصلب الى ٩٠م٣ يستهلك حوالى ثلثه فى حرق أول أكسيد الكربون ٠

وتكون نقاوة تيار الأكسجين الثانوى ٧٠ – ٩٠٪ واذا شحن هذا الاكسجين الثانوى فى مسترجع الحرارة فانه من الممكن استعمال الاكسجين بدرجة نقاوة أقل حتى اذا ما وصلت درجة حرارته بالتسخين الى ٨٠٠ – ١٠٠٠ م فانه يمكن استبدال الأكسجين الاضافى بالهواء ٠

ويجب أن يقل غاز الأكسجين المنفوخ بكمية معادلة للأكسجين المستفاد به من خام الحديد ٠ وعلى وجه التقريب فان كمية الأكسجين الموجودة بخام الهيماتيت المضاف (ح٢ أ٣) والذى يحتوى على الحديد بنسبة ٥٠٪ وبتقدير أن ٨٠٪ من الأكسجين هو الذى يستفاد به :

$$\frac{١٥٥ \times ٥ر٠ \times ١٦٠ \times ٤٨ \times ٨ر = ٢٧م٣}{١٦٠ \times ١١٢} = ٢٧ م٣$$

حيث :

$\frac{١٦٠}{١١٢}$: نسبة تحول الحديد الى ح ٢ أ ٣

$\frac{٤٨}{١٦٠}$: كمية الأكسجين الموجودة فى ١ كجم من ح ٢ أ ٣

اذا : وزن الأكسجين الباقى = ٩٠ – ٢٧ = ٦٣م٣/طن ٠

وهذه هى الكمية التى تدخل الفرن على الهيئه الغازية وتقدر النسبة التى ينتفع بها من غاز الأكسجين بحوالى ٩٠٪ أى أن معدل نفخه لكل طن من الصلب = ٧٠ م٣ ٠

ويلزم لانتاج طن الصلب من الحديد الزهر الفوسفورى ١٢٥ كجم من الجير وتقل هذه الكمية حتى تصبح ٢٠ كجم لكل طن اذا كان حديد زهر الأفران المفتوحة يحتوى على نسبة منخفضة من الفوسفور ٠

وقد يستخدم الحجر الجيرى الناعم بدلا من أكسيد الكالسيوم وفى هذه الحالة نحتاج الى كمية من الحرارة اللازمة لتحليل الحجر الجيرى ولذلك يجب علينا أن نقلل من كمية خام الحديد المضافة مما يؤدى الى نقص الكفاية الانتاجية للصلب الناتج ٠

وبمقارنة الموازنة المادية فى الطرق المختلفة لصناعة الصلب من الحديد الزهر الفوسفورى :

(أ) بنفخه بالهواء فقط ٠

(ب) بنفخه بالهواء المزود بالأكسجين حتى ٣٠٪ ٠

(جـ) بنفخه فى الأفران الدوارة ٠

نجد أن كمية الحديد الضائعة فى الفرن الدوار تعادل ٢ر٢٪ بينما فى طريقة النفخ السفلية بالهواء تساوى ٤ر٣٪ ولا تقل عن ٧ر٤٪ عند نفخه بالهواء المزود بالاكسجين ٠

وفى جدول ٤٨ بيان للاستهلاكات الحرارية فى الطرق المختلفة لتصنيع الحديد الزهر الفوسفورى (٪) ٠

جدول (٤٨)

الغرض الذى تبذل فيه الحرارة	طريقة النفخ السفلية بالهواء (توماس)	طريقة (توماس) للنفخ بالهواء المزود بالأكسجين ٣٠٪	الفرن الدوار
كمية الحرارة اللازمه لرفع درجة الحرارة الى ١٦٥٠°	١٤ر٥ (١٢٥٠° م)	١٣ر٣٥ (١٢٥٠) ×	١١ر٤ (١٣٠٠) × ×
كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجير	١٠ر٧	١١ر١	١١ر٤
كمية الحرارة اللازمة لتسخين الأكسجين الى ١٦٥٠° م	٥ر٣٤	٥ر٩	٦ر٥
كمية الحرارة اللازمه لاختزال خام الحديد أو لصهر الخردة	٣ر٠٥ (٤٦ كجم حرده)	١٢ر٦ (٣٠ كجم من خام الحديد)	٤٦ر٣ (١٠١ كجم من خام الحديد)
كمية الحرارة المفقودة مع الغازات المتصاعدة عند ١٤٥٠° م	١٩ر١	١٣ر٣٥	٥ر٧
حرارة أول أكسيد الكربون غير المحترق	٣٧ر٤	٣٤ر١	٤ر١
الحرارة المفقودة بالاشعاع وغيره	٩ر٢	٩ر٦	١٤ر٦

× بعد النفخ المبدئى

× × مباشرة من الفرن العالى

فى طريقة الفرن الدوار تبـــذل الحرارة التى ينفخ بها الأكسـجين (لتسخين الحديد الزهر) ، والجير لصـــهر الخرد ةوأيضـــا لاختزال خـام الحديد بنسبة ٦ر٧٥٪ بينما لا تتعدى هـذه النسبة فى طريقتى توماس وبسمر ٦ر٣٣ ، ٤٣٪ على الترتيب ٠

جودة الصلب المصنوع فى الفرن الدوار

تصنع أنواع الصـلب التى تحتـوى على ٠٥ر – ٢٥٪ كربونا فى الافران الدوارة ويمكن أيضا انتاج أنواع الصلب التى تحتوى على نسبة من الكربون أعلى من هذه النسبة وبهذا يمكن نغطية الاحتياج (سد الحاجة) من الصلب الانشـائى والألواح اللازمة لبناء السـفن والغلايات وكذلك الصلب الذى يدخل فى صناعة الأسـلاك الفولاذية وألواح الصـاج والقضـبان ٠

ويمتاز الصلب المصنوع بهذه الطريقة بانخفاض نسبة الفوسفور والكبريت والأكسـجين فمثلا لا تتعـدى نسبة الأكسـجين به ٠٠٥ر٠ – ٠١٥ر٪ كما فى صلب الأفران المفتوحة ٠

ومن ناحية التحمل للصدمات فلا يقل الصلب المصنوع فى الفرن الدوار عن منتجات الأفران المفتوحة بأى حال من الأحوال ٠

المؤشرات الفنية والاقتصادية لطريقة الفرن الدوار

يستهلك الطن من الصلب المنصهر حوالى ٥٠ كجم من الدولوميت ويمكن خفض هذا المعدل الى ٣٠ كجم/طن ولا يزيد الاستهلاك من الحراريات للأغراض الأخرى عن ١ كجم/طن ٠

وباستعمال الفرن الدوار سعة ٦٠ طنا يمكننا الحصول على ٠٠٠ر٢٠ طن من الصلب شهريا وتقدر السعة اليومية لفرن دوار يسع ١٠٠ طنا من : ١٠٠٠ – ١٢٠٠ طنا ٠

طريقة الصب المستمر لانتاج الصلب

يرجع الفضل فى اكتشـاف طريقة الصب المستمر لانتـاج الكتل مباشرة من الصلب الى بسمر وكان ذلك عام ١٨٥٧ حين حاول امرار تيار من الصلب المنصهر خلال درافيل تبرد بالمياه فى ماكينة درفلة الألواح الفولاذية حيث تطوق هذه الدرافيل بجلب تمنع تسرب الصلب المنصهر بين محاورها ٠

هذا ولا تزال المجهودات المضنية مستمرة حتى يومنا هذا بصدد تطوير طريقة التشكيل بالدرفلة بحيث لا تستخدم كتـلا من الصلب المتجمد لهـذا الغرض ولكن للأسـف تقابلنا فى التطبيق صناعيا بعض الصعوبات الأساسية مثل :

١ ـ الحاجة المستمرة لاستبدال الدرافيل نتيجة لتآكل سطحها ٠

٢ ـ صعوبة السيطرة على العملية ٠

٣ ـ انخفاض جودة وسلامة السطح النهائى للألواح الناتجة ٠

ولما جاءت المحاولات فى هـذا السبيل مخيبة للآمال فى بداية هـذا القـرن اتجه التفكير الى انتاج قطاعات نصـف مصنعة بدلا من القطاعات نهائية التشكيل وذلك بطريقة مستمرة لعملية الصب وتشمل القطاعات نصف المصنعة ، والكتل المدرفلة المعدة لعمليات تشكيل لاحقة للألواح ٠

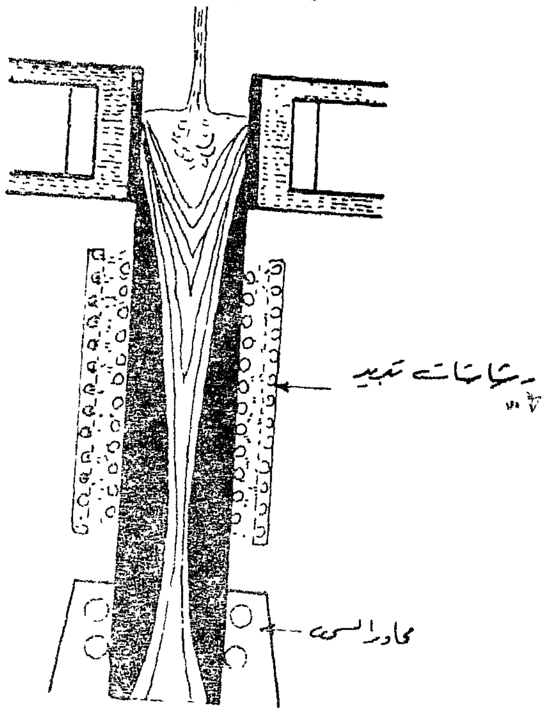
ولقد ظهـر الصب المستمر فى ميـدان البحث فى كل من الاتحاد السوفيتى عام ١٩٠٥ وألمانيا عام ١٩٠٩ بطرق متعددة ، ولكنها لم تدخل الى حيز التطبيق فى المجال الصناعى لصب الفلزات غير الحديدية بطريقة مستمرة حتى عام ١٩٤٠ ، ثم سارت الجهود بعد ذلك قدما بحماس منقطع النظير ووضعت فى خدمتها كل الخبرات السابقة فى هذا المجال حتى كللت بالنجاح وذلل الجزء الأكبر من الصـــعوبات الت تواجـه عملية الصب المستمر للصلب المنصهر ، ولقد ارتبط الباحثون بعضهم ببعض فى منظمات علمية كما ارتبطت هذه المنظمات هي الأخرى بعضها ببعض خدمة لهذا

الهدف حتى توصل البحث الى تعديلات ناجحة ومفيدة وانبثق عن هذه الأبحاث ثلاثة أنواع أساسية لهذه الطريقة :

- طرق تلائم عمليات الانتاج الضخم بأطنان وفيرة ·
- طرق مناسبة للصب السريع ·
- طرق قليـــلة ونادرة تستخدم لأغـــراض معينة فى مصانع خاصة لذلك ·

مبادىء الصب المستمر لانتاج الصلب

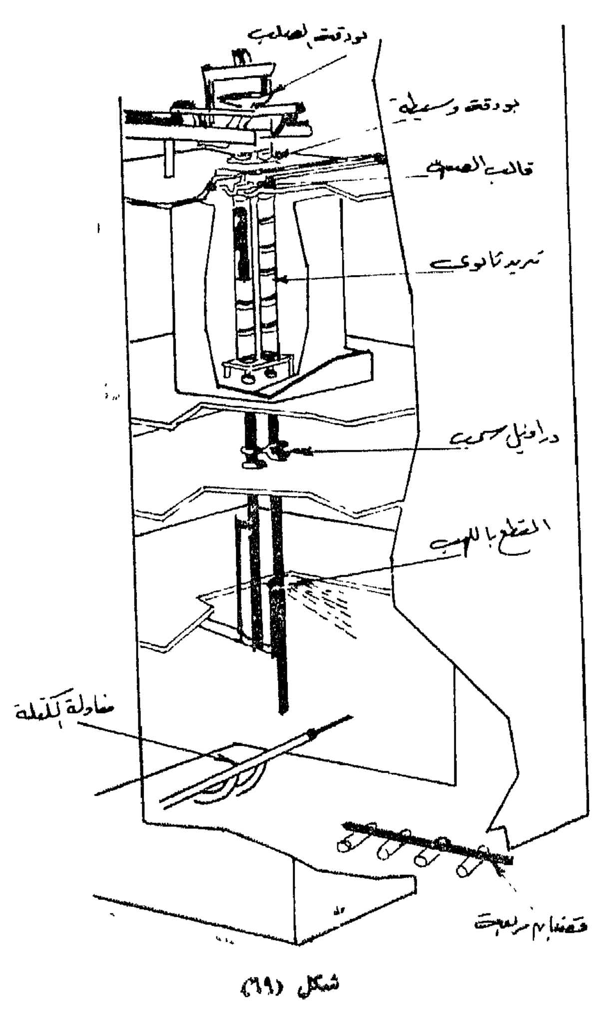
تقوم طريقة الصب المستمرة للصلب المنصهر أساسا على استخدام قوالب محملة رأسيا وتبرد بواسطة تيار من الميـــاه الجارية وبصـــب الصلب المنصهر من أعلا القالب نحصـــل علىقطاع متصـــل ومستمر من الصلب المصبوب عند نهايته واذا فحصنا هذا القطاع المتصل وجدناه مكونا من قلب من الصلب لا يزال فى حالة الانصهار مغلفا بغلاف (قشرة) من الصلب المتجمد له نفس شكل القالب ·



شكل (٦٨)

وفى الوقت الحاضر لا يبلغ سمك الغلاف الساخن لدرجة الاحمرار فى جميع طرق الصب المستمر تقريبا عند النقطة التى يغادر فيها القطاع الفولاذى نهاية القالب بوصة طولية وقد يصل هذا السمك فى القطاعات الخفيفة (ذات مساحة مقاطع صغيرة) والتى تنتج بواسطة الماكينات ذات السرعة العالية الى أقل من البوصة ٠

ويتحرك القطاع الناتج أسفل القالب خلال منطقة تبريد ثانوية حيث يتم تجمده كلية ويتم التبريد جزئيا بواسـطة الاشـعاع للطاقة الحرارية التى يحملها وأساسا باندفاع الماء عليه رذاذاً ومن ثم يمر الى أسفل حيث تقابله درافيل سحب تدار آليا وتقوم بضبط معدل هبوطه وتوجيهه الى أجهزة مختلفة الأشكال حيث يقطع الى الأطوال والمقاسـات المطـلوبة ٠



شكل (٦٩)

القواعد العامة لانتاج الصلب بواسطة الصب المستمر

تختلف وحدات الصب المستمر اختلافا بينا فيما بينها فى التفاصيل ولكنها بصفة عامة تشترك جميعا فى سمات أساسية والنقاط الرئيسية المشتركة بين جميع الوحدات موضحة تخطيطيا أما ما يضاف بعد ذلك عادة فهو تزويد الوحدة بأجهزة تنحصر مهمتها فى توجيه القطاع الناتج ليأخذ اتجاها أفقيا قبل قطعه حتى يقل الحيز الطولى الذى تشغله الوحدة بقدر الامكان ·

استعمال المعدن الساخن :

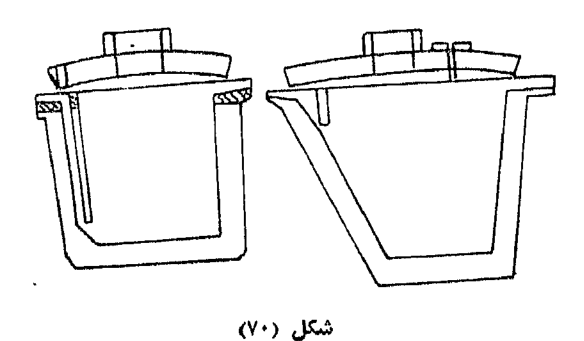
فى العادة يصب الصلب المنصهر من البونقه الى القالب خلال (قمع) وفى الوقت الحالى تستخدم ثلاثة أنواع من البوادق من مصانع الصلب التى تطبق طريقة الصب المستمر ·

ـ بودقه للصب من أسفل تشتمل على فتحات حسب القواعد الصحيحة ·

ـ بودقة ذات سيفون (سعب) فى جدارها الحرارى حيث يدمج بها أنبوبة حرارية لمرور ونقل الصلب المنصهر الى حافة الصب عند امالة البودقة ·

ـ بودقة ذات حافة للصب (ذات شفة) ·

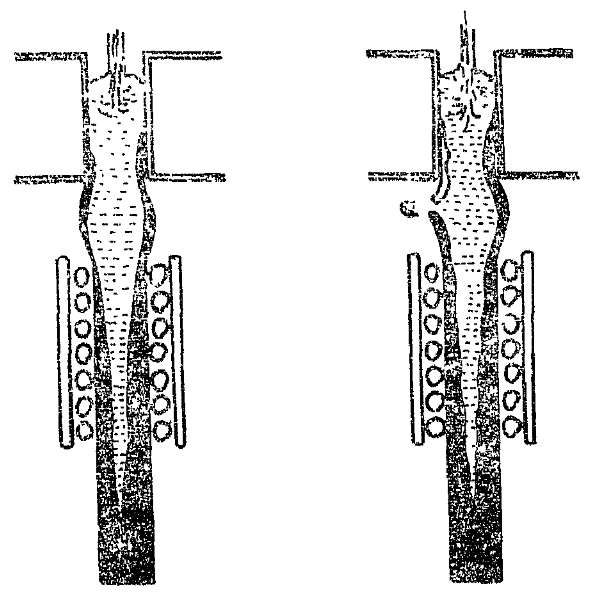
وعند اختيار النوع المناسب من هذه البوادق لاستخدامها فى الصب المستمر تتماثل أمامنا عدة عوامل فى غاية التعقيد ولكن عند استعراض جميع الاعتبارات فاننا نجد أن البودقة ذات الحافة (الشفة) تنفرد بعدة مميزات خاصة كما أنه من ناحية أخرى فان عيوبها لا تمثل خطورة بالغة ·



شكل (٧٠)

تجمد الصلب المنصهر :

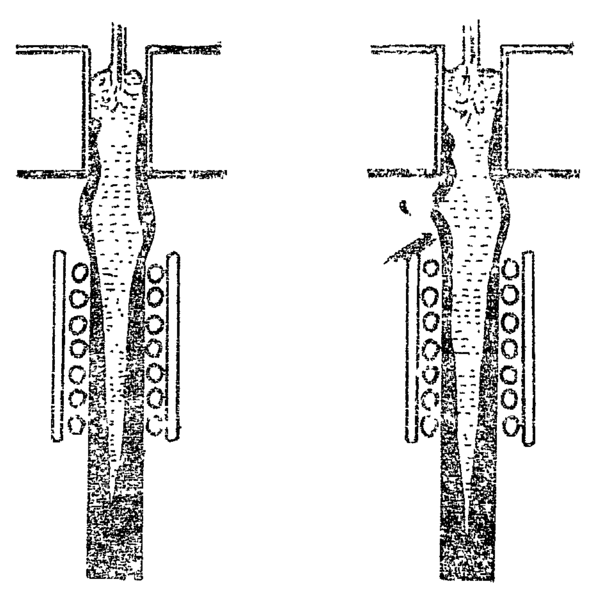
يتضح أن تيار الصلب المنصهر يبدأ فى التجمد فى القالب النحاسى حيث نستخدم المياه فى تبريده مكونا غلافا صلبا (ذا لون داكن) وتهبط الكتلة المتكونة الى أسفل وتضغط عليها مجموعة من الدرافيل حيث ترش برذاذ من المياه يسلط عليها خلال فتحات خاصة فيبدأ قلب الصلب المنصهر داخل الغلاف فى التقلص حيث يتجمد ثم لا يلبث هذا القلب المنصهر أن يتسع ثانية عندما تجتاز الكتله منطقة التبريد وتبدأ فى استعادة حرارتها ولكن بالرغم من هذا فلا يحق لنا ان نلقى اليه بالا اذ تصبح لدينا قشرة من الصلب المتجمد قد تكونت وهى كافية لتحمل الضغط الواقع عليها من درافيل السحب التى تلى منطقة التبريد .



شكل (٧١ ـ أ) : يوضح الشكل على اليسار المراحل الأولى فى عملية الصب المستمر عندما تتعدى سرعة السحب قيمتها الحرجة ، وعندما تكون القشرة المتجمدة رقيقة فانها تتعرض للانفجار أسفل القالب كما هو موضح بالشكل على اليمين

ويتوقف مقدار الصلب المنصهر فى قلب القطاع على معدل تبريد الغلاف المتجمد الذى يتوقف بدوره على معدل هبوط الكتلة الى أسفل والشكل الهندسى للقالب والخصائص المميزة للصلب الذى يتعرض لعملية التبريد أثناء الانزلاق فى منطقة التبريد .

وهناك نقطة حرجة لمعدل هبوط الكتلة عند أى مساحة مقطع ولما كانت كفاءة أجهزة الصب المستمر تزداد بزيادة سرعة السحب فانه أصبح من



شكل (٧١ ـ ب) : يوضح الشكل الذى على اليسار المراحل الأولى من عملية التصلد عندما تكون القشرة المتجمدة رقيقة لذلك تتعرض للانفجار فور هبوطها لأسفل كما فى الشكل على اليمين

المرغوب فيه أن تكون قيمة هذه النقطة الحرجة لمعدل الهبوط كبيرة بقدر المستطاع وبزيادة هذا المعدل تتكون لدينا هوة فى الصلب المتجمد وقد تكون عميقة عمقا كبيرا وتشكل خطورة بالغة لدرجة يصبح معها انفجار الغلاف المتجمد أمرا مترقبا وذلك نتيجة لاجهادات الشد التى يتعرض لها أو للاجهادات الهيدروستاتيكية التى تفاجىء الكتلة فور خروجها من القالب وأكثر من هذا فان معدل هبوط الكتلة يتحدد أيضا بقابلية التصاق غلافها المتجمد بالقالب وعادة ينشأ الالتصاق تحت المستوى الذى يبدأ فيه الغلاف فى التكوين مباشرة مما قد يؤدى الى تكوين قشرة رقيقة فى هذا المكان ومن ثم يتعرض للانفجار ، ويمكن تلافى ذلك الخطر المستطير بطرق شتى كاجراء عملية تزليق وغيرها من الطرق الأخرى .

ومما هو جدير بالذكر أنه قد أمكن حديثا التغلب على مشكلة الارتفاع الكبير الذى تتطلبه وحدة الصب المستمر وتم اختزال هذا الارتفاع عن طريق حيود مسار قطاع الصلب المستمر عن الاتجاه الرأسى الى الاتجاه الأفقى بواسطة درافيل سحب قوية تشغل هيدروليكيا ثم يستعدل قطاع الصلب بعد ذلك بالاستعانة بمجموعة أخرى من الدرافيل .

الاعتبارات الميتالورجية فى طريقة الصب المستمر للصلب المنصهر

طالما قامت طريقه الصب المستمر على أسس عملية سليمة أدى ذلك الى انتاج كتل من الصلب تتمتع بجوده عاليه وسطح سليم ٠

ومع ذلك فيجب علينا أن نتذكر أن الانتاج أساسا هو عمليه سباكة تتطلب تشغيلا على الساخن بواسطه الدرفلة والطرق وغيرها من طرق التشكيل الأخرى ٠

وبالنسبه للكتلة نفسها فان التكوين الفلزى للصلب الناتج بطريقه الصب المستمر يتكون من طبقه مبردة رقيقة تليها بللورات عمودية قد نمت على السطح الداخلى للطبقة المبردة ثم بعد ذلك تأتى المنطقة المركزيه الداخلية وهى تحتوى على بللورات غير منتظمة الترتيب ومتساوية العدد فى جميع الاتجاهات ٠

وبأخذ مقطع مربع نجد أن مستويات الضعف تكون قطريه وتبتدىء من الأركان الى الأركان مارة بالبللورات غير المنتظمة الترتيب ٠

وفى حالة الألواح الفولاذيه ذات المقاطع الرقيقة تتقابل البللورات العمودية على المحور الأكبر للمقطع حيث تميل مستويات الضعف بزاويه ٤٥ درجة على الأركان ٠

وفى الصلب الذى يحتوى على نسبة منخفضة من الكربون تتوغل البللورات العمودية الى حوالى نصف أو ثلاثة أرباع المسافة الى المركز تبعا لسمك المقطع بينما فى حالة الصلب الكربونى لا يتقدم نمو هذه البللورات العمودية الا لمسافة قصيرة لهذا تزداد مساحة المنطقة التى تحتوى على البللورات غير المنتظمة الترتيب ٠

وبزيادة نسبه الكربون فان سمك الترتيب البنيانى لكل من البللورات العموديه ، والبللورات غير منتظمة الترتيب يصبح رقيقا ٠

وفى هذا المجال يمكن القول بأنه توجد نقطتا تباين فى التركيب البنيانى للكتل الناتجة بطريقتى الصب المستمر والمعتادة :

١ ــ تمتاز طريقة الصب المستمر بتماثل التركيب البنيانى على طول القطاع المنتج من أوله الى آخره ٠

٢ ــ خلو القطاع المنتج بطريقه الصب المستمر من ظاهرة الانعزالية المستعرضة ولقد كانت المقارنة السابقة بالنسبة للصلب المخمد ، أما الصلب الفوار فيتكون هو الآخر من بللورات عموديه وأخرى غير منتظمة الترتيب ولكن البنيان الماكروسكوبى على كل مساحة المقطع لهذا الصلب

يكون مضطربا وغير منتظم نتيجة للتفاعلات التى تحدث داخل الصلب فتتكون منطقة تحتوى على فقاعات غازية أثناء الفوران ومع ذلك يمتاز كل من الصلب الفوار والصلب المتجمد الناتج من عملية الصب المستمر بسلامة سطحه عموما ٠

وقصارى القول فان الصلب الناتج بطريقة الصب المستمر يمتاز بجودة عالية كما أن الخواص الطبيعية والميكانيكية لنواتجه المدلفنه تكون جيدة ومرضية ولا تختلف عن مثيلاتها التى نحصل عليها من المنتجات عالية الجودة والتى تم صبها بالطريقة المعتادة ٠

مقارنة بين طريقة الصب المستمر والطريقة المعتادة :

لقد سبق ذكر بعض المقارنات من الناحية الميتالورجية فى البند السابق ومن الطبيعى أن تكون المميزات الاقتصادية انعكاسا صادقا ودقيقا للمميزات العلمية لطريقة الصب المستمر وعموما تنحصر المميزات الاقتصاديه فى زمن الاعداد الكلى والطاقة البشريه المستغلة (القوى العاملة) وفى اجراءات الصيانة فيما يلى :

١ ــ تلافى شغل العديد من قوالب الصب وتجريدها بعد تجمد كتل الصلب بداخلها أى عدم الحاجة الى أوناش لتجريد الكتل من قوالب الصلب ٠

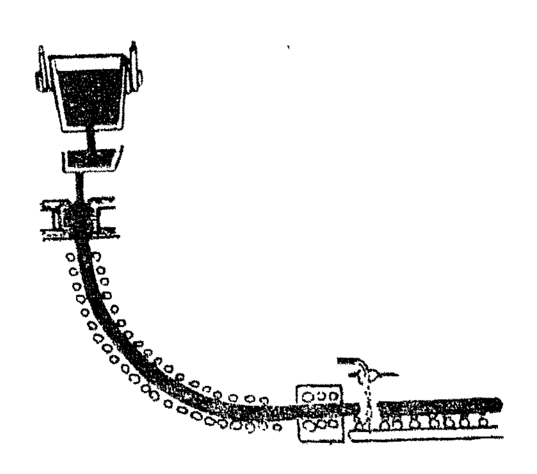
٢ ــ عدم الحاجة الى الأفران الغاطسه ٠

٣ ــ الاستغناء عن ماكينات الدرفلة الابتدائية ٠

٤ ــ ارتفاع الكفاءة الانتاجية للكتل الناتجة (النــوارات والالواح) اذ يتكون لدينا فجوة أنبوبية واحدة فتقل كمية المستبعد من الصلب الناتج نتيجة لتكوين الفجوات الأنبوبية عند تجمد الصلب المنصهر والتى تحدث عند استخدام الطرق المعتادة للصب ٠

طريقة الصب المستمر

مما لا شك فيه أنه نتيجة للمميزات المتعددة التى تقدمها لنا طريقة الصب المستمر فان عدد وحدات الصب المستمر التى تنشأ بمصانع الصلب يزداد باطراد خاصة فى السنوات الأخيرة وتتركز معظم هذه الوحدات فى مصانع الصلب بأوربا وقد لحقت بها الولايات المتحدة أخيرا وفى أكتوبر سنة ١٩٦٣ كان العدد الكلى للوحدات العاملة التى تتبع طريقة الصب



شكل (٧٢) تقوم مجموعة من الدلفينات بتغير مسار قطاع الصلب المنبح من الاتجاه الرأسى الي الاتجاه الأفقى ـ وأثناء ذلك يتعرض القطاع للتبريد بواسطة الهواء بدلا من التبريد برشاشات المياه وبهذه الطريقة يمكن اختزال ارتفاع وحدة الصب المستمر

المستمرة ٥٩ ، ويستحوذ الاتحـــاد السوفيتى ، والمملـــكة المتحـدة على حوالى ٤٠٪ منها وجارى الآن فى معظم مصانع الصلب النى فى شتى أنحاء العالم تشييد وحدات للصب المستمر ٠

ومن هـذه الحقائق يمكننا التنبؤ بمستقبل مشرق لهـذه الطريقة الصناعية الحديثة لصب الصلب ٠

وحاليا يجرى تعديل هذه الطريقة بحيث يتم تشغيلها أوتوماتيكيا حتى يمكن مباشرة كل من البوتقة وقالب الصب من حجرة المراقبة بواسطة العدد اللازم فعلا من الايدى العاملة ٠

وعلى وجه العموم فان طـريقة الصب المستمر تلقى نجاحا مطـردا على مر الأيام ٠

فهرس

صفحة

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٩٨٧/٢٣٦١

ISBN — ٩٧٧ — ٠١ — ١٢٨٤ — ٤



عرض تفصيلى للطرق المختلفة لإنتاج الصلب باستخدام النفخ ويتضمن شرحاً للنواحى التكنولوجية المميزة لكل طريقة وحسابات الموازنات المادية والحرارية لها . مع شرح لمميزاتها وعيوبها وأنواع الصلب المنتجة فى كل طريقة . ويختتم الكتاب بعرض موجز لطريقة الصب المستمر وهى أحدث طرق صب المعادن عموماً والصلب على وجه الخصوص .

مهندس : سعيد عبد الغفار

٣٢٥ قرشا

مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب